

(5)

Int. Cl. 2:

H 02 K 7-06

(10)

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES



PATENTAMT

DT 25 30 045 A1

(11)

Offenlegungsschrift 25 30 045

(21)

Aktenzeichen:

P 25 30 045.2

(22)

Anmeldetag:

4. 7. 75

(43)

Offenlegungstag:

5. 2. 76

(50)

Unionspriorität:

(72) (50) (31)

5. 7. 74 Sowjetunion 2041484

(54)

Bezeichnung:

Elektrischer Motor

(71)

Anmelder:

Kiewsky Politechnitschesky Institut imeni 50-letia Welikoi Oktyabrskoi
Sozialisticheskoi Revoljuzii, Kiew (Sowjetunion)

(74)

Vertreter:

Beetz sen., R., Dipl.-Ing.; Lamprecht, K., Dipl.-Ing.; Beetz jun., R., Dr.-Ing.;
Pat.-Anwälte, 8000 München

(72)

Erfinder:

Vishnevsky, Vladimir Sergeevich; Kavertsev, Vladimir Leonidovich;
Kartashev, Igor Alexandrovich; Lavrinenko, Vyacheslav Vasilievich;
Nekrasov, Mikhail Makrovich; Prez, Alexei Alexeevich;
Kiev (Sowjetunion)

Recherchenantrag gem. § 28a PatG ist gestellt

© 1.76 509 886/381

48/60

BEST AVAILABLE COPY

530-24.432P(24.433H)

2530045

4. Juli 1975

Kievsky politekhnicheskoy institut imeni 50-letia
Velikoi Oktyabrskoi Sotsialisticheskoi Revoljutsii
Kiev, Brest-Litovskyy prospekt, 39 (UdSSR)

ELEKTRISCHER MOTOR

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Elektrotechnik, insbesondere auf elektrische Motoren.

Zur Zeit sind elektrische Motoren kontinuierlichen Umlaufs mit einem Spalt zwischen Läufer und Ständer weitgehend bekannt, bei denen das mechanische Drehmoment des Läufers durch Wechselwirkung von elektrischen und magnetischen Feldern des Läufers und des Ständers sichergestellt wird. Hierbei stellt der Ständer einen in bezug auf den Tragkörper, auf welchem er befestigt ist, unbeweglichen Teil des Motors dar. Der Läufer ist ein rotierender Motorteil, der bei den Motoren mit innerem Läufer innerhalb des Ständers und bei den Motoren mit äußerem Läufer außerhalb des Ständers angeordnet und am Ständer mit Hilfe von Lagern befestigt ist.

Die bekannten Motoren mit der Wechselwirkung der elektrischen Felder durch Coulomb-Kräfte zwischen den Ladungen von Läufer und Ständer besitzen keine Wicklungen, kennzeichnen

509886/0381

sich aber durch niedrige spezifische Leistungen und niedrige Werte des Wirkungsgrades. Deshalb werden sie in der Regel hauptsächlich für Vorführungszwecke verwendet.

Es werden weitgehend Motoren mit der Wechselwirkung der magnetischen Felder beim Durchfluß der Ströme durch die Läufer- und die Ständerwicklung eingesetzt, die in zwei Typen aufgeteilt werden: Motoren, bei denen der Strom in der Läufer- und der Ständerwicklung von einer äußeren elektrischen Stromquelle erregt wird, und Motoren, bei denen der Strom in der Läuferwicklung unter Einwirkung des Stroms in der Ständerwicklung induziert wird. Die erstgenannten von ihnen zählt man gewöhnlich zu den Gleichstrommotoren und die zweitgenannten - zu den Wechselstrommotoren.

Ein wesentlicher Nachteil der Motoren dieser Typen ist das Vorhandensein von Wicklungen, was ihre Herstellungstechnologie bedeutend komplizierter macht und die Kosten erhöht. Die Leistung an der Welle solcher Motoren hängt von dem Spalt zwischen Ständer und Läufer ab, weshalb der Kostenpreis der Motoren entsprechend den Anforderungen an ihre Herstellungsgenauigkeit steigt. Mit der Verkleinerung der Leistung von Gleichstrom- und Wechselstrommotoren vermindert sich deren Eingangswiderstand infolge der Induktivitätsabnahme der Wicklungen, weswegen die Spannung der Quelle abgesenkt werden muß, was den Einsatz zusätzlicher Spannungswandler erfordert, die die Kosten der Apparatur, in welcher sie benutzt werden, erhöhen. Außerdem haben die besagten Motoren in der Regel eine hohe

509886/0381

Drehzahl, meist über 1000 U/min, weshalb man für die meisten praktischen Anwendungen teure Getriebe einsetzt.

Der hohe Kostenpreis der Motoren mit elektromagnetischer Erregung ist auch durch komplizierte Herstellung von Läufer und Ständer bedingt, die aus Platten auf der Basis von Eisenlegierungen zusammengebaut werden, welche teure Metalle wie Nickel, Mangan u.a. enthalten. Das hohe spezifische Gewicht der Werkstoffe von Läufer und Ständer und des Leitungskupfers der Motorwicklungen ist eine der Ursachen der ungenügend hohen spezifischen Leistungscharakteristiken an der Welle, insbesondere für Motoren mit einer Leistung unter 10 W.

Ein hohes Trägheitsmoment des Läufers schließt schnelles Anlassen und Stoppen des Motors aus. Hierbei erreichen die Anlaufströme immense Werte, die zu Überlastungen im Netz führen. Zu anderen Nachteilen dieser Motoren gehören auch der niedrige Kosinus des Verlustwinkels, von der Arbeit der Kollektoren herührendes Geräusch und Funken, unzureichend hoher Wirkungsgrad für Motoren kleiner Leistung, Notwendigkeit der Benutzung von teuren Lagern wegen hoher Umlaufgeschwindigkeit, Verschlechterung der Kenndaten bei der Arbeit im Vakuum, bei hohen Temperaturen und in verunreinigten Medien, Notwendigkeit der zusätzlichen Schutzmaßnahmen für Motoren und niedrige Betriebsfrequenz für Wechselstrommotoren.

Trotz aller vorerwähnten Nachteile finden diese Motoren eine breite Verwendung, da keine anderen bekannten Motoren imstande sind, mit der Motoren mit elektromagnetischer Erregung

nach den Grundparametern - Leistung an der Welle und Wirkungsgrad - zu konkurrieren.

Zweck der vorliegenden Erfindung ist die Beseitigung der vorstehend erwähnten Nachteile.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, auf der Grundlage von piezoelektrischen Elementen, die den Effekt der Umwandlung von elektrischer Energie in mechanische Energie ausnutzen, eine grundsätzlich neue Konstruktion des elektrischen Motors zu scharfen.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß in dem elektrischen Motor, der einen Ständer und einen Laufer enthält, erfindungsgemäß mindestens einer von ihnen zumindest einen Vibrator besitzt, der ein Piezoelement einschließt, dessen Herausführungen an eine Spannungsquelle angeschlossen sind, wobei der Ständer und der Läufer in mindestens einem auf der Oberfläche des Vibrators liegenden Punkt aneinander angedrückt sind, um das Drehmoment zu übertragen.

Der Läufer des Motors ist am Ständer mit Hilfe mindestens eines Lagers montiert.

Zur ununterbrochenen Berührung von Laufer und Ständer ist zumindest der Läufer als Körper ausgebildet, bei dem ein Teil der Oberfläche, der mit dem Ständer in Berührung steht, durch Drehen mindestens eines Abschnitts einer geraden Linie um die Drehachse des Läufers gebildet ist. Der Ständer kann auch als Körper ausgebildet sein, bei dem ein Teil der Oberfläche,

509886/0381

2530045

der mit dem Läufer in Berührung steht, durch Drehen mindestens eines Abschnitts einer geraden Linie um die Rotationsachse des Läufers gebildet ist.

Der ganze Läufer kann als Drehkörper in bezug auf die Rotationsachse des Läufers gestaltet sein.

Der Ständer des Motors kann als Vibrator ausgeführt sein.

Der Vibrator kann an einer Lagerung mit Hilfe eines Stoffs befestigt werden, bei dem das Produkt aus Dichte mal Youngschem Modul mindestens zehnmal kleiner ist als das erwähnte Produkt für das Material des Piezoelements des Vibrators.

Im Ständer des Motors kann ein Vibrator der Längsschwingungen sowie der Radialschwingungen verwendet werden.

Im Ständer kann ein Vibrator mit Erregung von Längs- und Biegeschwingungen sowie ein Vibrator mit Erregung von Torsions- und Radialschwingungen, ein Vibrator mit Erregung von Torsions- und Längsschwingungen, ein Vibrator mit Erregung von Scherschwingungen in zwei senkrecht zueinander stehenden Richtungen, ein Vibrator mit Erregung von Scher- und Längsschwingungen verwendet werden.

Im Laufer des Motors kann ein Vibrator von Radialschwingungen, ein Vibrator von Scherschwingungen, ein Vibrator von Torsionsschwingungen verwendet werden.

Der Vibrator kann an einer Lagerung in wenigstens einem Minimum der Schallwellen befestigt sein.

Der Vibrator des Ständers kann als Piezoelement ausgeführt sein.

509886/0381

Der Vibrator des Läufers kann ebenfalls als Piezoelement ausgeführt sein.

Man kann das Piezoelement des Ständervibrators an der Berührungsstelle von Läufer und Ständer mit einer Zwischenlage aus verschleißfestem Material versehen, die an das Piezoelement akustisch angeschlossen ist.

Der Vibrator kann als rechtwinklige Platte ausgebildet sein.

Man kann den Vibrator des Ständers in Form eines Stabes mit abnehmendem Querschnitt ausführen, wobei der Läufer den Vibrator am Stabende mit minimalem Querschnitt berührt.

Der Vibrator des Ständers kann als Windung einer Spirale ausgebildet sein, und zwischen den Enden dieser Spiralenwindung kann sich der Läufer befinden.

Der Vibrator des Ständers kann als Hohlzylinder ausgebildet sowie auch in Form eines nicht hohlen Zylinders gestaltet sein.

Das Piezoelement im Vibrator kann die Form des Vibrators haben.

Die Zwischenlage aus verschleißfestem Material kann als dünnwandiger Zylinder ausgebildet sein.

Das Piezoelement kann man aus zwei Schichten ausführen, die akustisch miteinander verbunden und durch mindestens eine Elektrode getrennt sind.

An die Oberfläche einer der Elektroden kann man eine Metallschicht akustisch anschließen.

Das Piezoelement kann man aus seignetteelektrischem Piezo-

elektrikum ausführen.

Das Piezoelement kann man aus keramischen Material ausführen.

Das Piezoelement kann man senkrecht zu seinen Elektroden oder parallel zu seinen Elektroden polarisieren.

Das Andrücken von Läufer und Ständer aneinander besorgt mindestens ein elastisches Element, beispielsweise eine Feder.

Das elastische Element kann mit dem einen Ende an der Lagerung des Vibrators und mit dem anderen am Vibrator angeordnet sein.

Das elastische Element kann mit den Enden an zwei Vibratoren des Ständers und kann auch am Läufer angeordnet sein.

Den Elektroden des Piezoelementes des Läufervibrators kann man über Federkontakte die Spannung einer Speisungsquelle zuführen.

Die Elektroden können auf die Zylinderflächen des Hohlzylinders aufgebracht sein, der in der zu den Elektroden senkrechten Richtung polarisiert ist.

Das Piezoelement kann als nach der Dicke polarisierte Scheibe mit Elektroden an den Grundflächen ausgebildet sein.

Die Schichten des Piezoelementes können parallel zu den Aussenelektroden angeordnet und untereinander parallelgeschaltet sein, während die benachbarten Schichten in Gegenrichtungen polarisiert sein können.

Man kann den Läufer innerhalb des Ständers anordnen, der als Hohlzylinder ausgebildet ist, in dessen Innerem symmetrisch

509886/0381

in bezug auf die Rotationsachse des Läufers Platten mit ihrem einen Ende befestigt sind, wobei sie sich mit dem anderen Ende auf der Oberfläche des Läufers abstützen.

Der Ständer kann den Läufer umfassen, an dessen Achse symmetrisch in bezug auf die Drehachse Platten mit ihrem einen Ende befestigt sind, wobei sich diese Platten mit dem anderen Ende auf der Oberfläche des Ständers abstützen.

Der Läufer kann zwischen zwei parallelen piezoelektrischen Platten symmetrisch angeordnet sein, welche an ihn mittels zweier an Rahmen angebrachten Federn angedrückt werden, in denen die Platten befestigt sind, und jeder Rahmen befindet sich in einem Abstand von $1/4$ der Länge der Platte von deren Ende, wobei sich die Rahmen frei in vier Richtungen der Lagerung verschieben, während die Platten Elektroden an den Grundflächen enthalten und nach der Dicke in zwei gegenseitig entgegengesetzten Richtungen und in einer Richtung in bezug aufeinander polarisiert sind, wobei sowohl die Innen- als auch die Außenelektroden miteinander verbunden sind.

Das Piezoelement des Ständers kann den Läufer symmetrisch umfassen und Elektroden an den Zylinderflächen besitzen, zu denen senkrecht es in gegenseitig entgegengesetzten Richtungen polarisiert ist, derart, daß es dabei durch die Polarisation in eine gerade Zahl gleicher Teile aufgeteilt wird, an deren Grenzen auf der Innenseite des Piezoelementes Zwischenlagen aus verschleißfestem Material symmetrisch befestigt sind, deren Anzahl die Zahl der erwähnten Teile um die Hälfte unter-

509886/0381

schreitet.

Man kann auf der Welle des Läufers symmetrisch in bezug auf den Ständer zwei Piezoelemente mit Elektroden an den Seitenflächen axialverschieblich anordnen, welche senkrecht zu diesen Elektroden polarisiert sind, und die erwähnten Piezoelemente werden an die Zwischenschichten des Ständers aus verschleißfestem Material angedrückt, deren Querschnitt ein gleichschenkliges Dreieck darstellt, wobei ebenso wie die Innenelektroden die Außenelektroden der Piezoelemente miteinander verbunden sind, und die Piezoelemente sind in bezug aufeinander in entgegengesetzten Richtungen polarisiert.

Der Ständer kann zwei Vibratoren in Form von zweischichtigen piezoelektrischen Platten mit Öffnungen enthalten, an welche der Läufer angedrückt ist, dessen Achse durch die erwähnten Öffnungen geht, wobei das Piezoelement einen Vibrator des zweiten Obertons der Längsschwingungen über die Länge der Platte und des zweiten Obertons der Biegeschwingungen über die Breite der Platte darstellt.

Das Piezoelement kann eine gemeinsame Elektrode, die an einen Pol der Quelle angeschlossen wird, und eine Elektrode zur Erregung eines Typs der Schwingungen enthalten, welche an den anderen Pol der Quelle angeschlossen wird, während eine zweite Elektrode zur Erregung des anderen Typs der Schwingungen über einen Schalter an die erste Elektrode direkt oder über eine Invertierungseinrichtung, beispielsweise einen Transformator der elektrischen Spannung, angeschlossen wird.

509886/0381

Von den vier an eine Quelle angeschlossenen Elektroden des Motors sind zwei Elektroden, die zur Erregung eines Typs der Schwingungen dienen, an die Spannungsquelle direkt angeschlossen, während zwei andere, die zur Erregung des anderen Typs der Schwingungen dienen, an die Spannungsquelle über einen bipolaren Schalter angeschlossen sind.

Das Piezoelement kann mindestens eine an eine Belastung angeschlossene Zusatzelektrode enthalten.

Der Vibrator des Ständers kann ein zweischichtiges Piezoelement mit zwei Elektroden in jeder Ebene der Schichten enthalten, die im Piezoelement zwei elektrisch nicht gekoppelte Zonen mit Polarisation der Schichten in der einen Zone in einer Richtung und in der zweiten Zone in entgegengesetzter Richtung bilden, wobei die äußeren leitenden Beläge jeder Zone miteinander verbunden sind.

Der Motor kann zumindest einen zusätzlichen, an den Ständer angebrachten Läufer enthalten.

Man kann auf der durch den Ständer verlaufenden Achse des Motorläufers symmetrisch beiderseits vom Ständer zwei z.B. in Form eines abgestumpften Kegels ausgebildete Drehkörper axialverschieblich anordnen, die je eine Öffnung und eine Nut zur Anbringung an der erwähnten Läuferachse aufweisen, wobei die vorgenannten Körper an die Ständerflanken angebracht sind.

Der Ständer des Motors kann mit zwei Vibratoren versehen sein, die mit dem einen Ende an einem Gelenk befestigt sind, während sich zwischen den Vibratoren der Läufer befindet, wel-

cher an das Ende eines der Vibratoren durch eine Reversiereinrichtung angedrückt wird.

Die Reversiereinrichtung kann einen Elektromagnet darstellen, und am Ende eines der Vibratoren befestigt man einen Teil des Elektromagneten.

Beim Einsatz des elektrischen Motors als Generator wird sein Läufer mit einem Antrieb verbunden, der den Läufer in Drehung versetzt, und mindestens ein Elektrodenpaar zumindest eines Vibrators, welches zur Erregung eines Typs der Schwingungen dient, wird an eine elektrische Belastung angeschlossen.

Das zweite Paar der Elektroden, von denen eine die Elektrode auch des ersten Elektrodenpaars ist, ist an die Wechselspannungsquelle mit Betriebsfrequenz des Motors angeschlossen.

Das zweite Elektrodenpaar zur Erregung des anderen Typs der Schwingungen kann auch an die Wechselspannungsquelle mit Betriebsfrequenz des Motors anschließen.

Der piezoelektrische Motor ist eine neue Art der wicklungslosen Motoren. Durch das Fehlen der Wicklungen wird die Fertigungstechnologie vereinfacht und der Arbeitsaufwand bei der Herstellung des Motors gesenkt.

Außerdem gelingt es bei piezoelektrischen Motoren, die Anwendung von teuren Materialien wesentlich zu verringern. In Verbindung damit vermindert sich auch der Kostenpreis des Motors.

Die Ausführung des piezoelektrischen Motors in Form der

509826/0381

vorstehend beschriebenen Konstruktionen gestattet es, die Kenn-
daten von Motoren kleiner Leistung wesentlich zu verbessern.
So besitzen im Vergleich mit elektromagnetischen Wechselstrom-
motoren die piezoelektrischen Motoren mit einer Leistung
unter 10 W einen um das 2-3fache größeren Wirkungsgrad. Die
Abmessungen des Motors werden auch geringer, er kann in
flacher Bauart oder umgekehrt in Form eines in einer Rich-
tung gestreckten Körpers hergestellt sein. Die piezoelektri-
schen Motoren können leicht mit kleiner Läuferdrehzahl herge-
stellt werden, und dann entfällt die Notwendigkeit, ein Getriebe
zu verwenden, welches den Motor komplizierter macht und ver-
teuert. Die piezoelektrischen Motoren besitzen ein großes An-
laufmoment an der Welle sowie eine kleine Trägheit, wodurch
sie sich vorteilhaft von den elektromagnetischen Analoga vor-
teilhaft unterscheiden, was ihren Einsatz in Stellsystemen
der Automatik perspektivisch macht.

Aussichtsreich ist auch die Verwendung der piezoelektri-
schen Motoren als leistungsschwache Elektrogeneratoren, die
ebenso wie die Motoren kleine, einfache und zuverlässige Ein-
richtungen sind.

Im weiteren wird die Erfindung durch konkrete Ausführungs-
beispiele derselben und anhand von beigelegten Zeichnungen er-
läutert; in den Zeichnungen zeigen:

Fig. 1 die Schaltung des erfindungsgemäßen piezoelektri-
schen Motors;

509886/0381

an der Läuferachse angeordnetem Andrückelement, gemäß der Erfindung;

Fig. 13 eine Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit Erregung im Vibrator des Ständers von Längs- und Radial-schwingungen, gemäß der Erfindung;

Fig. 14 eine Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit Erregung im Vibrator des Ständers von Scherschwingungen in senkrecht zueinander stehenden Ebenen, gemäß der Erfindung;

Fig. 15 eine Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit Erregung im Vibrator des Ständers von Längs- und Scherschwingungen, gemäß der Erfindung;

Fig. 16 eine Konstruktion des piezoelektrischen Motors, bei dem der Vibrator des Läufers als Hohlzylinder ausgebildet ist, gemäß der Erfindung;

Fig. 17 eine flache Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit aktivem Läufer und Ständer, gemäß der Erfindung;

Fig. 18 eine Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit Erregung im Vibrator des Läufers von Torsionschwingungen, gemäß der Erfindung;

Fig. 19 eine Konstruktion des piezoelektrischen Motors, bei dem mehrere Vibratoren des Ständers in beweglichen Rahmen befestigt sind, gemäß der Erfindung;

Fig. 20 Profile von verschleißfesten, an den Vibratoren zu befestigenden Zwischenlagen, gemäß der Erfindung;

Fig. 21 eine Konstruktion des piezoelektrischen Motors, bei dem der Vibrator des Ständers einen veränderlichen Quer-

schnitt aufweist, gemäß der Erfindung;

Fig. 22 eine Konstruktion des piezoelektrischen Motors, bei dem der Vibrator des Ständers als Spiralenwindung ausgebildet ist, gemäß der Erfindung;

Fig. 23 eine Konstruktion des piezoelektrischen Motors, bei dem der Vibrator des Ständers eine Metallschicht enthält, gemäß der Erfindung;

Fig. 24 die Konfiguration der Elektroden an der Oberfläche von Piezoelementen, gemäß der Erfindung;

Fig. 25 das Piezoelement des Vibrators, das aus mehreren, in Reihe geschalteten Zonen besteht, gemäß der Erfindung;

Fig. 26 mögliche Polarisationsarten der Piezoelementzonen, gemäß der Erfindung;

Fig. 27. die Reihenschaltung der Zonen eines im vierten Oberton der akustischen Schwingungen erregten Piezoelementes, gemäß der Erfindung;

Fig. 28 die Schaltung der Schichten eines zweischichtigen biegsamen Piezoelementes, gemäß der Erfindung;

Fig. 29 das zweischichtige biegsame Piezoelement mit Elektroden an den Stirnseiten, gemäß der Erfindung;

Fig. 30 die Parallelschaltung der Elektroden eines Piezoelementes, das aus vielen Schichten besteht, gemäß der Erfindung;

Fig. 31 die Parallelschaltung der Elektroden eines Piezoelementes, die sich an dessen Oberfläche befinden, gemäß der Erfindung;

Fig. 32 eine der Varianten der Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit passivem Ständer, gemäß der Erfindung;

Fig. 33 einen mehrschichtigen Vibrator, ausgebildet in Form eines Zylinders, gemäß der Erfindung;

Fig. 34 eine Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit aktivem Läufer und Ständer, bei welchem der Läufer als Hohlzylinder ausgebildet ist, gemäß der Erfindung;

Fig. 35 eine Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit aktivem Läufer und Ständer, welche als Rotationskörper ausgebildet sind, gemäß der Erfindung, (Seitenansicht);

Fig. 36 die Konstruktion des piezoelektrischen Motors gemäß Fig. 35 (Vorderansicht);

Fig. 37 eine andere Variante der Konstruktion des piezoelektrischen Reversiermotors gemäß der Erfindung;

Fig. 38 die Konstruktion des piezoelektrischen Reversiermotors gemäß Fig. 37 (Seitenansicht);

Fig. 39 ein zwischichtiges Piezoelement mit Erregung von Längs- und Biegeschwingungen, gemäß der Erfindung;

Fig. 40 und Fig. 41 die einfachsten Schaltungen von Spannungsumsetzern für die Speisung der piezoelektrischen Motoren, gemäß der Erfindung;

Fig. 42 eine Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit zusätzlichen Läufern, gemäß der Erfindung;

Fig. 43 eine Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit mechanischer Reversierung, gemäß der Erfindung;

Fig. 44 eine Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit

einer in Form eines Elektromagnets ausgeführten Reversiereinrichtung, gemäß der Erfindung;

Fig. 45 die Schaltung des piezoelektrischen Motors als Spannungsgenerator, gemäß der Erfindung;

Fig. 46 die Schaltung des piezoelektrischen Reversiermotors mit drei Elektroden als Spannungsgenerator, gemäß der Erfindung;

Fig. 47, Fig. 48 die Schaltung des piezoelektrischen Reversiermotors mit zwei Elektrodenpaaren als Spannungsgenerator, gemäß der Erfindung.

Der zu patentierende elektrische Motor enthält einen gegenüber der Grundplatte 1 (Fig.1) unbeweglichen Teil des Motors den Ständer 2 - und einen rotierenden Teil - den Läufer 3, der am Ständer 2 in einem Lager 4 angeordnet ist. Der Motor wird an eine elektrische Stromquelle 5 direkt oder über eine Phasenschiebereinrichtung 6, welche die elektrische Reversierung des Motors besorgt angeschlossen. Da in diesen Motoren die elektrische Energie mit Hilfe von Piezoelementen in die mechanische Rotation des Läufers umgewandelt wird, werden sie piezoelektrische Motoren genannt.

Ein unbedingt notwendiges Merkmal des zu patentierenden piezoelektrischen Motors ist, daß der Ständer 2 mindestens einen Vibrator 7 (Fig. 2,4, 5) und/oder der Läufer 3 mindestens einen Vibrator 7' (Fig. 3,4) enthält. Der Vibrator 7 des Ständers 2 enthält ein Piezoelement 8 (Fig. 2, 4, 5). Der Vibrator

7' des Läufers 3 enthält ebenfalls ein Piezoelement 8' (Fig. 3, 4). Die Polarisationsrichtung in den Piezoelementen 8 und 8' wird auf allen Figuren durch Pfeile bezeichnet. Hierbei wird unter Vibrator ein akustischer Resonator verstanden, das ein piezoelektrisches Element einschließt, welches fähig ist, mechanische Energie in Form von elastischen Schwingungen zu speichern.

Im folgenden wird der Ständer (oder der Läufer), der einen Vibrator (oder Vibratoren) und folglich ein oder mehrere Piezoelemente enthält, piezoelektrisch aktiv genannt, wobei darunter verstanden wird, daß im Ständer (oder im Läufer) durch reziproken Piezoeffekt die Umwandlung von elektrischer Energie in mechanische vor sich geht.

Wenn der Ständer (oder der Läufer) keinen einzigen Vibrator enthält, so werden in ihm keine mechanischen Schwingungen elektrisch erregt. Deswegen wird der Ständer (oder der Läufer), der keinen Vibrator (oder keine Vibratoren) enthält, im weiteren piezoelektrisch passiv oder einfach passiv genannt.

Zur Steigerung der Leistung des piezoelektrischen Motors enthält der Ständer 2 mehrere Vibratoren 7, von denen jeder beispielsweise mit einem Ende an den Läufer 3 (Fig. 5) angedrückt ist.

Zur Übertragung des Drehmomentes sind der Ständer 2 und der Läufer 3 aneinander angedrückt. Die Berührung erfolgt längs einer an der Oberfläche des Vibrators 7 (oder des Vibrators 7') verlaufenden geraden Linie. Hierbei ist es zweckmäßig, daß zu-

mindest der Läufer 3 als Körper ausgebildet ist, bei dem ein Teil der Oberfläche, der mit dem Ständer 2 in Berührung steht, durch Drehen mindestens eines Abschnitts der geraden Linie A-A um die Rotationsachse des Läufers 3 (Fig. 2) gebildet ist. Diese Bedingung wird z.B. erfüllt, wenn der ganze Läufer 3 als Drehkörper in bezug auf seine Rotationsachse gestaltet ist. In den Fällen, wenn die vorstehend angegebene Bedingung nicht erfüllt wird, ist es notwendig, daß der Ständer 2 in Form eines Körpers gefertigt ist, bei dem ein Teil der Oberfläche, der mit dem Läufer 3 in Berührung steht, durch Drehen mindestens eines Abschnitts der geraden Linie A-A um die Rotationsachse des Läufers 3 (Fig. 6) gebildet ist.

Es sind drei Hauptvarianten der Ausführung des piezoelektrischen Motors möglich.

Nach der ersten Variante enthält der piezoelektrische Motor einen Ständer 2 (Fig. 2), zu dem ein Vibrator 7, Halter 9 des Vibrators 7 und ein Lager 4 gehören. Der Vibrator 7 schließt ein Piezoelement 8 ein. Das Piezoelement 8 ist in Form einer Platte mit Elektroden 9 und 10 ausgebildet, die an entgegengesetzten Seiten der Platte angeordnet sind. Die Herausführungen 12 der Elektroden 10 und 11 werden an eine elektrische Stromquelle (in der Figur nicht gezeigt) angeschlossen.

Das Andrücken des Ständers 2 an den Läufer 3 kommt mittels eines Andrückelementes 13 zustande, das einen Teil des Ständers 2 darstellt. Die Halter 9, das Andrückelement 13 und das Lager 4 sind an dem (in den Figuren nicht abgebildeten) Gehäuse

des piezoelektrischen Motors befestigt. Der Läufer 3 in dieser Ausführungsvariante des piezoelektrischen Motors ist als Zylinder 14 ausgebildet, der an seiner Welle 15 befestigt ist. Hierbei steht der Läufer 3 mit dem Ständer 2 längs einer geraden Linie in Berührung. Da in der betrachteten Variante des piezoelektrischen Motors der Läufer 3 piezoelektrisch passiv ist, so wird hier ein solcher Motor als piezoelektrischer Motor mit piezoelektrisch passivem Läufer oder einfach mit passivem Läufer genannt.

Nach der zweiten Ausführungsvariante des piezoelektrischen Motors enthält der Ständer 2 (Fig. 3) mindestens eine Platte 16 aus hartem elastischem Material, die mit einem Ende an den Vibrator 7' des Läufers 3 angedrückt ist. Ein solcher Motor wird hier als piezoelektrischer Motor mit piezoelektrisch passivem Ständer oder einfach mit passivem Ständer genannt. Der Vibrator 7' des Läufers 3 ist als Drehkörper ausgebildet und an der Welle 15 befestigt. In der gegebenen Konstruktion besteht der Vibrator 7' nur aus dem Piezoelement 8', dessen Elektroden 10' und 11' über Gleitkontakte 17 an eine (in der Figur nicht abgebildete) elektrische Stromquelle angeschlossen sind. Das Lager 4, die Platte 16 und die Gleitkontakte 17 sind am Gehäuse des piezoelektrischen Motors befestigt.

Nach der dritten, in Fig. 4 gezeigten Variante enthalten sowohl der Ständer 2 als auch der Läufer 3 einen Vibrator 7 bzw. 7', weshalb hier ein solcher Motor als piezoelektrischer

509886/0381

Motor mit piezoelektrisch aktivem Läufer und Ständer oder einfach mit aktivem Läufer und Ständer genannt wird.

In der angeführten Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit piezoelektrisch aktivem Läufer und Ständer enthält der Vibrator 7' des Läufers 3 ein Piezoelement 8' in Form einer Scheibe. Die Herausführungen 10' und 11' des Piezoelementes 8' des Läufers 3 sind über Gleitkontakte 17 an eine elektrische Stromquelle angeschlossen. Der Vibrator 7 des Ständers 2 enthält ein Piezoelement 8, das über eine Zwischenlage 18 an der Läufer 3 mittels des Andruckelementes 13 angedrückt wird.

Die Lager 4, die Andruckelemente 13, die Gleitkontakte 17, welche Teile des Ständers 2 darstellen, sind am Gehäuse des Ständers 2 befestigt.

Je nach den Anforderungen, die an die piezoelektrischen Motoren gestellt werden, können die Konstruktionen ihres Läufers und Ständers sehr verschieden sein. Zur Vereinfachung der Konstruktion des piezoelektrischen Motors ist es zweckmäßig, den Ständer 2 in Form des Vibrators 7 auszuführen und den Läufer 3 am Ständer 2 ohne Lager (Fig. 6) zu montieren.

Jedoch wird für viele Konstruktionen der Vibrator 7 (Fig. 7, 8) ebenso wie die Lager 4 an der Lagerung 19 des Ständers 2 angeordnet. Hierbei wird der Vibrator 7 an der Lagerung 19 mit Hilfe einer Isolierschicht 20 befestigt, die den Vibrator 7 von der Lagerung 19 akustisch isoliert. Als Stoff für eine solche Isolierschicht 20 kann ein beliebiger harter Stoff dienen, bei welchem das Produkt aus Dichte mal Youngschem Modul min-

destens zehnmal das Produkt aus Dichte mal Youngschem Modul des Materials des Vibrators 7 unterschreitet. Ein solcher Stoff ist zum Beispiel Gummi, Kork, Holz u.a.

In der auf Fig. 7, 8 betrachteten Konstruktion des piezoelektrischen Motors besitzt dieser bei einer Stärke der Isolierschicht 20 von 0,5 mm zufriedenstellende Kenndaten. Mit der Verbesserung der akustischen Isolation des Vibrators 7 von der Lagerung 19 steigt der Wirkungsgrad des piezoelektrischen Motors, der nach Berechnungswerten den Wirkungsgrad aller bekannten Motoren mit einer Leistung bis 10 W beträchtlich übersteigt.

Die Kennlinien und Parameter der piezoelektrischen Motoren hängen in bedeutendem Maße von der Bauart des Vibrators ab.

Bekannt sind Konstruktionen der Vibratoren mit Erregung von Längs-, Radial-, Biege-, Scher- und Torsionsschwingungen sowie Vibratoren mit unterschiedlicher Kombination der aufgezählten Schwingungen (Ultrasonic transducers Edited by Yoshimitu Kikuchi, Professor Research Institute of Electrical Communication Tonoki University, Corona publishing company, LTD, Tokyo, 1969).

Es sei bemerkt, daß in den vorerwähnten Konstruktionen der Vibratoren die akustischen Schwingungen gleichzeitig in mehreren Richtungen erregt werden: ist beispielsweise der Vibrator 7 als Platte ausgebildet (Fig. 2, 4), so werden die Schwingungen über die Länge, Breite und Dicke der Platte gleichzeitig erregt, wenn aber der Vibrator 7 (7') als Scheibe

(Fig. 3,4), Zylinder (Fig. 6) gestaltet ist, so werden die Schwingungen gleichzeitig längs dem Radius, der Dicke der Scheibe und der Mantellinie des Zylinders erregt. In den oben-erwähnten Richtungen breiten sich auch elastische mechanische Wellen aus. Falls nach ihrer Dimension in eine der genannten Richtungen eine ganze Zahl von Halbwellen - von mechanischen Schwingungen - hineinpassen, so ist eine Resonanz der mechanischen Schwingungen zu verzeichnen. Wenn dabei in die gegebene Richtung nach der Dimension eine Halbwelle hineinpaßt, so spricht man von der Resonanz des ersten Obertons, wenn zwei Halbwellen - dann ist es die Resonanz des zweiten Obertons, wenn 3 Halbwellen - dann des dritten Obertons usw.

Außerdem können im Vibrator zu gleicher Zeit auch parasitäre Typen der mechanischen Schwingungen erregt werden. Die parasitären Schwingungen führen zur Abnahme des Faktors der elektromechanischen Kopplung derjenigen Schwingungen, die zur Arbeit des Motors notwendig sind und Betriebsschwingungen genannt werden. Im Vibrator werden z.B. außer den Betriebsschwingungen - Torsions- und Längsschwingungen, die sich beispielsweise längs der Mantellinie des Zylinders ausbreiten, auch parasitäre Radialschwingungen erregt. Unter der Bezeichnung eines Vibrators z.B. als Vibrator für Längsschwingungen wird deshalb verstanden, daß nur die Längsschwingungen die Betriebsschwingungen sind.

Es ist zweckmäßig, im Ständer 2 der piezoelektrischen Motoren einen Vibrator 7 für Längsschwingungen (Fig. 2,5,7,8),

509886/0381

einen Vibrator für Radialschwingungen (Fig. 9, 10), einen Vibrator mit Erregung von Längsschwingungen und Biegeschwingungen zugleich (Fig. 11), einen Vibrator mit Erregung von Torsionsschwingungen und Längsschwingungen zugleich (Fig. 12) zu verwenden. Im Vibrator 7 des Ständers 2 kann man auch die Längs- und Radialschwingungen gleichzeitig (Fig. 13) erregen oder die Biegeschwingungen in zwei senkrecht zueinander stehenden Richtungen - nach der Dicke des Hohlzylinders und nach dessen Kreisumfang (Fig. 14) - erregen, und in der Konstruktion mit dem Vibrator in Form einer Platte (Fig. 15) ist im Ständer 2 ein Vibrator 7 mit Erregung von Längs- und Schwerschwingungen verwendet.

Der Vibrator 7' des Läufers 3 wird als Vibrator für Radialschwingungen (Fig. 3, 4) ausgeführt. Zur Erhöhung der Frequenz der Speisespannung wird der Vibrator 7' des Läufers 3 als Vibrator für Scherschwingungen (Fig. 16, 17) ausgeführt. Und umgekehrt wird der Vibrator 7 des Läufers 3 zur Verminderung der Speisespannungsfrequenz zweckmäßigerweise als Vibrator für Torsionsschwingungen (Fig. 18) ausgeführt.

Es sei auch darauf hingewiesen, daß die Wahl der Vibrator-konstruktion durch die ganze Gesamtheit der Anforderungen bestimmt wird, die an einen piezoelektrischen Motor gestellt werden. Beispielsweise ist der Vibrator 7 des Ständers 2 mit Erregung von Torsions- und Scherschwingungen, ausgebildet als Hohlzylinder (Fig. 6), gedrängt, und der in Form von Platten gestaltete Vibrator 7 (Fig. 2) ist am einfachsten in der Herstellung.

509886/0381

Die Erregung von Torsionsschwingungen im Vibrator setzt die Frequenz der Speisespannung des piezoelektrischen Motors herab, während die Erregung von Scher- sowie Längsschwingungen zur Erhöhung der Speisespannungsfrequenz führt.

Für piezoelektrische Motoren mit passivem Läufer (Fig. 2, 5, 7, 8, 9, 10) oder Ständer 3 (Fig. 3, 16, 18), in denen nur ein Typ der akustischen Schwingungen nach einer Richtung erregt wird, ist die elektrische Reversierung des Motors, d.h. die Drehrichtungsänderung des Läufers durch Umschalten der Herausführungen unmöglich. Deshalb werden derartige Motoren zu den irreversiblen gerechnet. Motoren mit aktivem Läufer und Ständer (Fig. 4, 17, 19) und Motoren, in deren Vibrator 7 (Fig. 6, 11, 12, 14, 15) gleichzeitig zwei Schwingungstypen elektrisch erregt werden, sind Reversiermotoren, da in ihnen durch Umschalten der Herausführungen die Drehrichtung des Läufers 3 verändert werden kann.

Bei Kenntnis des Typs der zu erregenden Schwingungen und der Ausbreitungsrichtung, der Welle führt man die Befestigung des Vibrators 7 an der Lagerung 19 des Ständers 2 unter minimalen Verlusten der akustischen Energie durch, indem man dazu praktisch beliebige harte Stoffe verwendet. So z.B. befestigt man den Vibrator 7 an der Lagerung 19 (Fig. 19) in mindestens einem Minimum der Schallschnellen (s. "Magnetische und dielektrische Geräte", herausgegeben von G.W.Katz, Verlag "Energija", Moskau 1964).

Es ist bekannt, daß für die Längs-, Scher- und Torsions-

509886/0381

schwingungen die Minima der Schallschnellen sich in Abständen befinden, die ein Vielfaches der die Betriebsfrequenz des Vibrators vorgehenden Dimension sind, geteilt durch die doppelte Nummer des Obertons. Hierbei wird die die Betriebsfrequenz vorgebende Dimension in Ausbreitungsrichtung der akustischen Welle bestimmt, während das erste Minimum der Schallschnellen sich im Abstand L vom Ende des Vibrators befindet

$$L = \frac{S}{2n} ,$$

dabei bedeuten: S - die die Frequenz vorgebende Dimension;
 n - Nummer des Obertons der Längsschwingungen.

Für Biegespannungen befindet sich das erste Minimum der Schwingungen in einem Abstand L vom Ende der Latte, welcher angenähert nach folgender Formel bestimmt wird:

$$L = \frac{S}{2(n'+1)} ,$$

wobei n' die Nummer des Obertons der Biegeschwingungen bedeutet.

Die Befestigung der Vibratoren im Minimum der Schallschnellen erfolgt mit Hilfe der Schneidenhalter 9 (Fig. 2) oder Halter 9 in Form von Rahmen (Fig. 19). Der Vibrator 7 des Ständers 2 wird in ihnen z.B. mittels Leim befestigt.

Der Vibrator 7 des Ständers 2 (Fig. 2) enthält außer dem Piezoelement 8 die Zwischenlage 10 aus nicht piezoelektrischem Material. Diese Zwischenlage wird aus einem verschleißfesten Material angefertigt. Sie ist an das Piezoelement 8 zur Gewährleistung des akustischen Kontaktes zwischen Läufer 3 und

509886/0381

Ständer 2 angeschlossen und gestattet es, die Betriebsdauer des piezoelektrischen Motors um ein Mehrfaches zu erhöhen. Beispielsweise überschreitet die Lebensdauer eines solchen Motors mit der Zwischenlage aus Hartmetall 2000 Stunden. Falls eine Betriebsdauer von 100 Stunden ausreicht, enthält der Vibrator 7 des Ständers 2 und des Läufers 3 zur Verringerung der Anzahl von Motorteilen nur das Piezoelement 8 /oder 8'/ (Fig. 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 19). In denjenigen Fällen, wenn der Verschleiß des Vibrators 7 (Fig. 4) des Ständers 2 gegenüber dem Verschleiß des Läufers 3 bedeutend größer ist, wie dies z.B. für die piezoelektrischen Motoren mit aktivem Laufer und Ständer (Fig. 4) der Fall ist, wird die Zwischenlage 18 aus verschleißfestem Material zweckmäßigerweise nur am Ständer 2 angeordnet und der Vibrator 7' des Läufers 3 in Form des Piezoelementes 8' ausgeführt, das im Bereich des Minimums der Schallschnellen an der Welle 15 des Läufers 3 befestigt ist.

Die Form der Zwischenlage 18 muß eine maximale Zuverlässigkeit ihrer Verbindung mit dem Piezoelement 8 gewährleisten. Dazu muß sie z.B. nicht nur mit der Stirnfläche des Piezoelementes 8, sondern auch mit einer (Fig. 20a) oder mit zwei (Fig. 20b) Seitenflächen des als Platte ausgebildeten Piezoelementes 8 verbunden sein. Die Ausführung der Zwischenlage 18 (Fig. 20c) in Form eines Schnabels gestattet es, das Drehmoment des piezoelektrischen Motors etwas zu vergrößern.

Außer dem Typ des Vibrators ist es zur eindeutigen Bestim-

509886/0381

mung der Konstruktion des piezoelektrischen Motors notwendig, auch die Ausführungsform des Vibrators zu definieren. Es ist technologisch am effektivsten, den Vibrator als rechtwinklige Platte (Fig. 2, 4, 5, 7, 8, 11, 15, 19) auszubilden. Zur Erhöhung des Motorwirkungsgrades wird der Vibrator 7 des Ständers 2 als Stab mit abnehmendem Querschnitt oder z.B. als abgestufter Körper (Fig. 21) ausgebildet, wobei der Läufer 3 den Vibrator 7 am Ende dieses Stabs mit minimalem Querschnitt berührt.

Zur Verkleinerung der Abmessungen wird der Vibrator 7 des Ständers 2 in Form einer Spiralenwindung ausgebildet, zwischen deren Enden der Läufer 3 (Fig. 22) angeordnet wird. Gestrichelt ist in Fig. 22 die Lage der Spiralenwindung vor der Anordnung des Läufers 3 angedeutet.

Zur Verringerung der Abmessungen des piezoelektrischen Motors und Erweiterung des Bereichs seiner Betriebsfrequenzen durch Ausnutzung von Torsions-, Radial- und Scherschwingungen wird der Vibrator 7 (Fig. 6,9,10,12,13,14) des Ständers 2 oder der Vibrator 7' des Läufers 3 (Fig. 16,17, 18, 21) als Hohlzylinder ausgebildet. Es ist zweckmäßig, die Konstruktion des Läufers 3 in Form des Hohlzylinders auch in piezoelektrischen Motoren flacher Bauart zu verwenden, bei denen die Höhe erheblich kleiner als der Durchmesser (Fig. 17) ist.

Die betrachteten Ausführungsformen der Vibratoren schöpfen aber nicht alle möglichen Varianten aus, sondern sind nur die Hauptformen, und eine Abweichung von ihnen führt nicht zu ei-

ner wesentlichen Verbesserung der Kenndaten des Motors, solcher wie spezifische Leistung an der Welle des piezo-elektrischen Motors, Drehzahl, Wirkungsgrad usw.

So führt zum Beispiel eine geringe Abweichung von der zylindrischen Form zur konischen zum Auftreten von unterschiedlichen Lineargeschwindigkeiten in den Berührungspunkten des Läufers und des Ständers, was vom Entstehen des Geräusches und der Verschlechterung der Motordaten begleitet wird. Man muß auch nicht annehmen, daß das Anschließen der verschleißfesten Zwischenlage 18 (Fig. 20) die Vibratorform verändert, weil diese Abweichungen nicht durch die Notwendigkeit hervorgerufen sind, eine optimale Vibratorform zu erzielen, sondern stellen eine erzwungene Maßnahme zur Verbesserung der Festigkeit der Verbindung der verschleißfesten Zwischenlagen 18 mit dem Piezo-element 8 dar. Alles Gesagte bezieht sich auch auf die Zwischenlagen 18 (Fig. 9, 10) in Form von Ringen für die als Zylinder gestalteten Piezoelemente 8.

Für die piezoelektrischen Motoren mit dem Piezoelement 8 (oder 8') in Form eines Hohlzylinders ist die Zwischenlage 18 zweckmäßigerweise auch als Hohlzylinder (Fig. 10, 11) oder als dünnwandiger Becher (Fig. 17, 21) zu gestalten. Durch Leim, Löten oder nach anderen Verfahren wird die Zwischenlage 18 zuverlässig an das Piezoelement 8 (8') angeschlossen, wobei auf diese Weise die akustische Verbindung zwischen ihnen sichergestellt wird.

Die betrachteten Formen der Vibratoren sind die einfachsten.

509886/0381

Es ist zweckmäßig, daß auch das Piezoelement 8 die einfachsten Formen hätte und überdies die Vibratorform kopierte, d.h. es ist wünschenswert, daß das Piezoelement 8 (oder 8') als rechtwinklige Platte (Fig. 2,4,5,7,8,11,15,19), als Stab mit abnehmendem Querschnitt, z.B. in Form eines abgestuften Körpers (Fig. 21), als Hohlzylinder (Fig. 6,9,10,12,13,14,16,17,18,21) u und als Scheibe (Fig. 3,4,17,19) u.s.w. ausgebildet wäre. Piezoelektrische Motoren mit niedriger Betriebsspeisespannung sind in denjenigen Fällen notwendig, wenn ihre Speisung von Trockenelementen und Akkumulatoren mit einer Spannung von 1-5 V zustandekommt. Für diese piezoelektrischen Motoren wird der Vibrator 7 des Ständers 2 mit Erregung von Längsschwingungen und Scherschwingungen über die Dicke (Fig. 15) eingesetzt. Das Piezoelement 8 dieses Vibrators 7 ist als zweischichtige Platte mit Elektrode 21 zwischen den Schichten 22 des Piezoelementes 8 ausgebildet.

In dem Vibrator 7 (Fig. 23) des Ständers 2, ausgebildet als Platte, wird zur Erhöhung der Festigkeit des Vibrators an die Oberfläche einer der Elektroden 11 des Piezoelementes 8 (Fig. 23) eine Metallschicht 23 akustisch angeschlossen.

Nachdem der Typ des Vibrators, seine Form sowie die Form des Piezoelementes gewählt sind, ist es notwendig, das Verfahren zur Erregung des gewählten Typs der Schwingungen zu bestimmen. Dazu muß man sich die Polarisationsrichtung des Materials, die Anordnung der Elektroden des Piezoelementes und deren Schaltung vornehmen. Wie bereits oben angegeben,

wird die Polarisierung des Materials in den Figuren durch Pfeil bezeichnet. Die Polarisationsrichtung, gekennzeichnet durch einen Pfeil für das als Hohlzylinder ausgebildete Piezoelement, hat Sinn nur für Piezoelemente, die aus seignetteelektrischen, keramischen Materialien bestehen. Diese Materialien können in einer beliebigen, bei der Polarisierung vorgegebenen Richtung polarisiert werden. Bei der Zeichnung der Polarisationsrichtung des Hohlzylinders längs der Kreislinie bezieht sich (+) auf das Ende des Pfeils der Polarisationsrichtung und (•) auf dessen Anfang (z.B. Fig. 6, 14). Die piezoelektrische Keramik ist billiger als kristallinische piezoelektrische Materialien, weshalb sie zur praktischen Anwendung zwecks Reduzierung des Kostenpreises des piezoelektrischen Motors empfohlen wird. Jedoch besitzen die kristallinischen piezoelektrischen Materialien in der Regel höhere piezoelektrische Eigenschaften, so daß in den Fällen, wenn die Anforderungen an die elektrischen Parameter der piezoelektrischen Motoren über den Kosten dominieren, es zweckmäßig ist, für Piezoelemente der Vibratoren, ausgeführt in Form von Platten und Scheiben, kristallinische Werkstoffe zu verwenden.

Unter den Piezoelektrika, die nicht zu den Seignetteelektrika gehören, besitzt Quarz hohe mechanische Festigkeit und hohe mechanische Güte. Deswegen kann Quarz für piezoelektrische Motoren empfohlen werden, die eine hohe spezifische Leistung an der Welle und einen hohen Wirkungsgrad haben.

Die beschriebenen Formen der Vibratoren und die Formen der

509886/0381

Piezoelemente bestimmen noch nicht eindeutig den Typ der akustischen Schwingungen im Vibrator. Zur vollständigen Bestimmung des Vibrators muß man noch wissen, wie das Piezoelement polarisiert ist, wie die Elektroden aufgebracht und wie sie verbunden sind. Die Polarisationsrichtung wird durch den Winkel zwischen der Richtung des gemittelten Polarisationsvektors und der Elektrodenenebene gekennzeichnet. Wenn es dabei gilt, daß das Piezoelement senkrecht zu seinen Elektroden polarisiert ist, so bedeutet dies, daß wenn an diese Elektroden elektrisches Feld gelegt wird, die Richtung des Vektors des elektrischen Feldes in jedem Punkt mit der Richtung des Polarisationsvektors in diesem Punkt zusammenfällt. Ist aber der Polarisationsvektor zum Vektor des elektrischen Feldes in jedem Punkt des Piezoelementes senkrecht, so gilt es, daß das Piezoelement parallel den Elektroden polarisiert ist.

Zur Erregung von Längs- und Biegeschwingungen ist es zweckmäßig, daß mindestens ein Teil des Piezoelementes senkrecht zu seinen Elektroden polarisiert ist (Fig. 11). Für piezoelektrische Platten und Scheiben, Hohlzylinder, Spiralen, falls diese senkrecht zu den Elektroden polarisiert sind, nennt man eine solche Polarisation auch Polarisation nach der Dicke (Fig. 2,3, 4,5,7,19,21,22,23).

Zur Erregung von Scher- und Torsionsschwingungen ist es zweckmäßig, mindestens einen Teil des Piezoelementes parallel zu seinen Elektroden zu polarisieren.

Beispielsweise ist das Piezoelement 8' (Fig. 16) parallel

509886/0381

2530045

den Elektroden 10', 11' polarisiert, während im Piezoelement 8 (Fig. 12) ein Teil desselben zur Erregung von Längsschwingungen über die Höhe des Zylinders senkrecht zu den Elektroden 11, 21, und der andere Teil parallel zu den Elektroden 10, 21 zur Erregung von Torsionsschwingungen polarisiert ist.

Die betrachteten Polarisationsbeispiele des Piezoelementes des Vibrators des piezoelektrischen Motors schöpfen nicht alle Verfahren zur Polarisation der Piezoelemente aus. Alle diese Verfahren sind bekannt und lassen sich auf die folgenden Hauptprinzipien zurückführen:

1. Der Eingangsimpedanzwert des Piezoelementes des Vibrators des piezoelektrischen Motors ist um so größer, je größer der Abstand L zwischen den Elektroden 10 und 11 (Fig. 24) ist, an welche das elektrische Feld gelegt wird. Beispielsweise ist von drei Konstruktionen (Fig. 24) die Impedanz bei der in Fig. 24a dargestellten am kleinsten und bei der in Fig. 24c dargestellten Konstruktion am größten.

2. Ist ein Probekörper nach der Dicke polarisiert, so kann man die Eingangsimpedanz des Piezoelementes vergrößern, indem man das Piezoelement σ (Fig. 25) in Sektionen unterteilt und diese in Reihe schaltet (Fig. 25a, b). Diese Schaltung erbringt aber einen Effekt, wenn mechanische Spannungen in jeder Sektion ein und dasselbe Vorzeichen haben. Mit der Vergrößerung der Nummer des Obertons (Fig. 26, 27), beginnend mit dem zweiten, wechseln die mechanischen Spannungen periodisch

509886/0381

das Vorzeichen beim Übergang durch das Minimum der mechanischen Spannungen (in den Figuren ist die Verteilung der mechanischen Spannung über die Plattenlänge gestrichelt angedeutet). Dies muß man bei der Parallelschaltung der Sektionen 24 in Betracht ziehen, indem man das Polarisationsvorzeichen der Sektionen 24 (Fig. 26a) verändert oder die Kreuzschaltung der Elektroden (Fig. 26 b) benutzt.

Bei der Reihenschaltung der Sektionen 24 (Fig. 27) reicht es aus, die Elektroden 10, 11 in mehrere Teile aufzuteilen, ohne die Polarisationsrichtung zu verändern. Die betrachteten Verfahren sind zur Erregung sämtlicher Schwingungstypen im Piezoelement anwendbar, jedoch gibt es für den Fall der Erregung von Biegeschwingungen einige Besonderheiten.

Biegeformänderungen ohne Längsverformungen sind für eine zweischichtige piezoelektrische Platte (Fig. 28) zu verzeichnen, deren Schichten nach der Dicke in einer Richtung polarisiert sind, wobei sie parallelgeschaltet sind. Derselbe Effekt läßt sich beobachten, wenn die Schichten 22 in Reihe geschaltet sind und ihre Polarisierung in entgegengesetzten Richtungen erfolgt. Bei der Reihenschaltung der Schichten 22 steigt die Impedanz um das Vierfache im Vergleich zu deren Parallelschaltung. Eine bedeutende Vergrößerung der Eingangsimpedanz des Piezoelementes 8 wird in dem Falle beobachtet, wenn die Schichten 22 durch die Elektrode nicht getrennt sind und nach der Länge in entgegengesetzten Richtungen (Fig. 29)

polarisiert sind. In diesem Fall ist ebenso wie für das einschichtige Piezoelement mit Elektroden an den Stirnseiten (Fig. 24c) der Effekt der Umwandlung von elektrischer Energie in mechanische maximal. Jedoch führt eine hohe Eingangs-impedanz eines solchen Piezoelementes zur Erhöhung der Speisespannung, was den Einsatz derartiger Piezoelemente für piezoelektrische Motoren einschränkt. Eine Verminderung der Eingangsimpedanz des Piezoelementes 8 wird durch dessen Unterteilung (Fig. 30) über die Länge in eine Reihe von Schichten 22 erreicht, welche durch die Elektroden 10, 11 mit Parallelschaltung dieser Elektroden getrennt sind. Für dünne Piezoelemente werden die Elektroden 10, 11 (Fig. 31) auf die Oberfläche der Platte zweckmäßigerweise an einer oder zwei Seiten aufgebracht.

Im Unterschied zu den bekannten elektrischen Motoren mit kontinuierlicher Rotation des Läufers, sind der Ständer und der Läufer eines piezoelektrischen Motors aneinander ange-drückt. In den Konstruktionen mit passivem Ständer 2 (Fig. 32) erfolgt das Andrücken von Läufer 3 und Ständer 2 aneinander mit Hilfe der Platten 16 des Ständers 2, die durch ihr elastisches Biegen beim Einbringen des Läufers 3 in den Ständer 2 vorgespannt wurden. Auf dieselbe Weise findet mit Hilfe der Vorspannung das Andrücken des Läufers 3 (Fig. 22) und des Ständers 2 statt, wenn der Vibrator als Spiralenwindung ausgebildet ist.

Jedoch wird in den meisten Fällen in den Konstruktionen der

piezoelektrischen Motoren zum Andrücken des Läufers 3 an den Ständer 2 das Andrückelement 13 (oder 13') verwendet. Als Andrückelement 13 wird in den einfachsten Konstruktionen der Motoren eine Feder (Fig. 7, 8) benutzt, die an der Lagerung 19 des Vibrators 7 angebracht ist. Um einen Druck auf die Lager 4 zu beseitigen, wird das als Feder ausgebildete Andrückelement 13 (13') an zwei Vibratoren 7 des Ständers 2 (Fig. 19) oder des Läufers 3 (Fig. 12) angeordnet. Eine einfache Lösung, die das Andrücken des Läufers 3 und des Ständers 2 aneinander ermöglicht, stellt auch die Verwendung der Andrückelemente 13' dar, die an der Welle 15 (Fig. 14) des Läufers 3 befestigt sind und sich auf in axialer Richtung bewegliche Teile 26 des Läufers 3 abstützen.

Als Andrückelement 13 (13') kann eine elastische Zwischenlage oder eine Gummischnur verwendet werden. Für piezoelektrischen Motoren mit einem kleinen Drehmoment an der Welle ist als Andrückelement 13 (13') auch die Verwendung eines Dauermagneten (in den Figuren nicht abgebildet) möglich.

Für piezoelektrische Motoren mit passivem Ständer und piezoelektrische Motoren mit aktivem Laufer und Ständer werden die Herausführungen der Piezoelemente 8' des Läufers 3 an eine elektrische Stromquelle mittels der Gleitkontakte. 17 (Fig. 3, 4, 16, 17, 18, 19, 21) angeschlossen. Üblicherweise bringt man für diese Zwecke an der Welle 15 des Läufers 3 Schleifringe 25 (Fig. 4, 21) an. Die Kontakte 17 können direkt an die Elektroden 10', 11' (Fig. 3, 16, 17, 18, 19) des

2530045

Läufers 3 angedrückt werden. Eine solche Lösung gestattet es, die Konstruktion der piezoelektrischen Motoren bedeutend zu vereinfachen. In einer der Ausführungsvarianten des piezoelektrischen Motors mit passivem Läufer enthält der Ständer 2 einen Vibrator 7 (Fig. 9, 10), der in einer Öffnung der Lagerung 19 mit Hilfe der Isolierschicht 20 beispielsweise aus Kork befestigt wird.

Die Beschreibung anderer Konstruktionen der piezoelektrischen Motoren wird an Hand einiger Konstruktionen fortgesetzt, die in weiteren folgenden Zeichnungen angeführt sind.

Der piezoelektrische Motor mit passivem Läufer (Fig. 9, 10) enthält einen als Hohlzylinder ausgebildeten Vibrator 7 des Ständers 2. Das Piezoelement 8 des Vibrators 7 ist ebenfalls als Hohlzylinder angeführt, an dessen inneren Zylinderfläche eine dünne zylindrische Zwischenlage 18 aus verschleißfestem Material befestigt ist.

In der betrachteten Konstruktion des piezoelektrischen Motors sind die Elektroden 10, 11 auf die Zylinderflächen des piezoelektrischen Hohlzylinders aufgebracht, der in der zu diesen Elektroden senkrechten Richtung polarisiert ist. Innerhalb des Ständers 2 befindet sich der Läufer 3, an dessen Welle 1 symmetrisch in bezug auf die Rotationsachse des Läufers 3 Platten 16 beispielsweise aus Stahl mit einem Ende befestigt sind, wobei die Platte 16 am anderen Ende sich auf die Innenfläche des den Läufer 3 umfassenden Ständers 2 abstützen und auf diese Weise den Läufer 3 um den Ständer 2 aneinander andrücken.

Zur Verminderung der Betriebsfrequenz der elektrischen Stromquelle, die den piezoelektrischen Motor speist, wird der Vibrator 7' (Fig. 32) als Scheibe ausgebildet. Das Piezoelement 8' dieses Vibrators wird ebenfalls als Scheibe mit auf ihren Flächen Oberflächen aufgetragenen Elektroden 10', 11' gestaltet. Dieses Piezoelement ist nach der Dicke der Scheibe polarisiert. An die Zylinderfläche der Scheibe ist eine dünne Zwischenlage 18 aus verschleißfestem Material angeschlossen. Zur Verminderung der elektrischen Spannung der elektrischen Stromquelle wird das als Scheibe ausgebildete Piezoelement 8' aus mehreren Schichten 22 (Fig. 33) ausgeführt. Die Schichten 22 sind parallel zu den Elektroden 10', 11' angeordnet und untereinander parallel geschaltet. Die Parallelschaltung der Schichten 22 wird zweckmäßigerweise mit Hilfe von leitenden Streifen 27 zustandegebracht. An der Zylinderfläche des Piezoelementes 8' ist eine dünnwandige zylindrische Zwischenlage 18 aus keramischem verschleißfestem Material befestigt.

Der vorbeschriebene, mit Schleifringen 25 versehene Läufer 3 wird in den Ständer 2 (Fig. 32) eingebracht. Der Ständer 2 ist als Hohlzy-

509886/0381

linder ausgebildet, in dessen Innerem symmetrisch in bezug auf die Drehachse des Läufers 3 die Platten 16 mit ihrem einen Ende befestigt sind, während mit dem zweiten Ende die erwähnten Platten sich auf die Oberfläche des Läufers 3 stützen und dank ihren elastischen Eigenschaften den Läufer 3 und den Ständer 2 aneinander andrücken.

In der beschriebenen Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit passivem Ständer kann man den Läufer 3 von piezoelektrischen Motor mit aktivem Läufer und Ständer (Fig. 21) benutzen, der einen Hohlzylinder darstellt, der in radialer Richtung polarisiert ist, Elektroden 10', 11' an den zylindrischen Flächen aufweist und in eine Zwischenlage 18 eingebracht ist, die in Gestalt einer dünnwandigen Hülse 18 aus verschleißfestem Material ausgeführt ist. Eine solche Änderung in der Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit passivem Ständer gestattet es, die Leistung an der Motorwelle beträchtlich zu vergrößern.

Zur Erhöhung der Frequenz der den piezoelektrischen Motor speisenden Spannung kann man in der Konstruktion mit passivem Ständer 2 (Fig. 32) auch den als Hohlzylinder ausgebildeten Läufer 3 (Fig. 16) mit Erregung von Scherschwingungen einsetzen. Notwendigenfalls wird der Vibrator 7' des Läufers 3 an der Welle befestigt (in der Figur ist diese Befestigung nicht gezeigt).

Eine beträchtliche Verminderung der Betriebsfrequenz des piezoelektrischen Motors wird bei der Ausbildung des Vibrators 7' des Läufers 3 (Fig. 18) in Form eines Hohlzylinders, der an der Welle 15 befestigt ist, erreicht. Das Piezoelement 8' des Vibrators 7' besteht aus zwei Schichten 22, die durch eine zu den stirnseitigen Elektroden 10', 11' parallele Elektrode 21' getrennt sind. Die Schichten 22 sind in dieser Konstruktion längs dem Kreisumfang in entgegengesetzten Richtungen

509886/0381

parallel zu den Elektroden 10', 11' polarisiert.

Der Ständer 2 enthält eine an einer (in der Figur nicht abgebildeten) Lagerung befestigte Platte 16 aus hartem elastischem Material, die als Gabel gestaltet ist. Die Gabelzinken sind durch innere Biegekräfte an die Oberfläche des Läufers 3 angedrückt.

Zur Durchführung der Reversierung wird der piezoelektrische Motor mit aktivem Läufer 3 und Ständer 2 (Fig. 4, 17, 19, 21, 34) ausgeführt.

In der Konstruktion des piezoelektrischen Reversiermotors (Fig. 34) enthält der Ständer 2 zwei Vibratoren 7 der Längsschwingungen mit Erregung des zweiten Obertons. Hierbei sind die Elektroden 10 ebenso wie die Elektroden 11 der zwei Vibratoren 7 miteinander verbunden. Zur Vergrößerung des Wertes der den Motor speisenden Spannung wird in der betrachteten Konstruktion ein Rotor 3 verwendet, der einen als Hohlzylinder ausgebildeten Vibrator 7' enthält. Als solcher Läufer wird zweckmäßigerweise der Läufer 3 (Fig. 21) vom piezoelektrischen Motor mit dem abgestuften Vibrator 7 des Ständers 2 verwendet. Für das Andrücken des Ständers 2 und des Läufers 3 aneinander (Fig. 34) sorgen die Andrückelemente 13, die an der (in der Figur nicht dargestellten) Lagerung des Ständers befestigt sind und sich auf die Oberflächen der Vibratoren 7 des Ständers 2 abstützen.

Zur Verringerung der Außenabmessungen des piezoelektrischen Motors und Vergrößerung seiner Leistung an der Welle ist der Vibrator 7 des Ständers als Hohlzylinder ausgebildet, welcher

509886/0381

den Läufer 3 (Fig. 35, 36) symmetrisch umfaßt. Das Piezo-element 8 des Vibrators ist ebenfalls als Hohlzylinder ausgeführt und besitzt Elektroden 10, 11 an seinen Zylinderflächen. Durch die Polarisationsrichtungen wird es in eine gerade Zahl der Teile (in Fig. 36 sind es vier Teile) aufgeteilt, welche hier Zonen 28 und 28' genannt werden. Jede Zone 28 und 28' des Piezoelementes ist nach der Dicke polarisiert, wobei die Polarisationsrichtungen der benachbarten Zonen entgegengesetzt sind. Die betrachtete Ausführung des Piezoelementes 8 gewährleistet in ihm die Resonanz der Längsschwingungen über die Kreislänge des Piezoelementes 8 in einem Oberton, dessen Nummer der Anzahl der Zonen gleich ist (in der auf Fig. 35, 36 dargestellten Konstruktion wird die Resonanz im vierten Oberton sichergestellt). Zur Übertragung des Drehmomentes zum Läufer 3 vom Ständer 2 des piezoelektrischen Motors sind an der Innenfläche des Hohlzylinders des Piezoelementes 2 symmetrisch in bezug auf die Drehachse des Läufers 3 Zwischenlagen 18 aus verschleißfestem Material befestigt. Die Anzahl der Zwischenlagen 18 ist der halben Zahl der Zonen 28 und 28' gleich (d.h. sie ist gleich zwei). Es ist zweckmäßig, daß die Zwischenlagen 18 im Querschnitt in Form eines gleichschenkeligen Dreiecks ausgeführt sind, wie dies in Fig. 35 gezeigt ist. Die Vibratoren 7' des Läufers 3 für die beschriebene Konstruktion des Ständers 2 werden zweckmäßigerweise als zwei auf der Welle 15 des Läufers 3 axial verschiebbare Scheiben

509886/0381

ausgeführt. Die Vibratoren 7' enthalten als Hohlzylinder gestaltete Piezoelemente 8' mit Elektroden 10', 11' an den Grundflächen der Zylinder. Die Piezoelemente 8' sind senkrecht zu den Elektroden 10', 11' polarisiert.

Dabei sind sowohl die Elektroden 10' als auch die Elektroden 11' untereinander verbunden, während die Piezoelemente 8' selbst in zueinander entgegengesetzten Richtungen polarisiert sind. Eine solche Anordnung und Verbindung der Elektroden 10', 11' sowie die Polarisation der Piezoelemente 8' gewährleisten die Erregung von radialen Gleichtaktschwingungen in den Vibratoren 7' des Läufers 3.

An den Seitenflächen des Vibrators 7' (Fig. 35) des Läufers 3 sind die Enden von Andrückelementen 13' befestigt, welche die Vibratoren 7' des Läufers 3 an die Zwischenlagen 18 des Vibrators 7 des Ständers 2 andrücken. Auf diese Weise kommt das Andrücken des Läufers 3 und des Ständers 2 aneinander zustande. Ausgehend davon werden die beiden Vibratoren 7' des Läufers 3 zweckmäßigerweise symmetrisch in bezug auf den Vibrator 7 des Ständers 2 angeordnet.

Eine der positiven Eigenschaften der piezoelektrischen Motoren ist die Möglichkeit zur Herstellung von flachen Konstruktionen. Ein flacher piezoelektrischer Motor (Fig. 37, 38) besitzt einen Ständer 2 mit zwei Vibratoren 7 in Gestalt von zweischichtigen piezoelektrischen Platten 29. Jede Platte 29 weist in der Mitte eine Öffnung auf, durch die die Welle 15

509886/0381

des Läufers 3 hindurchtritt. An der Welle 15 des Läufers 3 befinden sich Teile 26 des Läufers 3, ausgebildet als zwei Scheiben 26, zwischen denen die Vibratoren 7 des Ständers 2 angeordnet sind.

Die Scheiben sind mit Hilfe von Stiften 30 an der Welle 15 des Läufers in axialer Richtung frei verschiebbar angeordnet. Das als Feder ausgebildete Anrückelement 13 ist an die Scheiben 26 zur Erzeugung eines Anpreßdruckes zwischen Ständer 2 und Läufer 3 angeschlossen. In dem betrachteten piezoelektrischen Motor stellt das Piezoelement 5 des Vibrators 7 des Ständers 2 eine zweischichtige Platte 29 (Fig. 39) mit Elektroden 11, 31 zwischen den Schichten 22 und Elektroden 10, 21 an den Außenflächen der Platten 29 dar. Die Außenelektroden 10, 21 und die Elektroden 10, 31 der zwei Piezoelemente 8 (Fig. 38) sind miteinander verbunden und an eine (in Fig. nicht gezeichnete) elektrische Stromquelle angeschlossen. Jede Platte 29 des Piezoelementes 8 (Fig. 39) ist nach der Dicke polarisiert. Hierbei teilen die Polarisationsrichtungen das Piezoelement in drei Zonen 28, 28' und 32 auf. Die Zone 32 mit den Elektroden 21, 31 umfaßt die Hälfte der Piezoelementbreite und ist nach der Dicke in einer Richtung polarisiert. Die zwei anderen Zonen 28 und 28' mit den Elektroden 10, 11 teilen der Länge nach die zweite Hälfte des Piezoelementes in zwei Teile auf. Dabei sind die Schichten 22 in jeder Zone 28 und 28' nach der Dicke in entgegengesetzten Richtungen polarisiert, und in bezug aufeinander sind die Zonen 28 in entgegengesetzten

Richtungen polarisiert. Die Anordnung und Schaltung der Elektroden sowie die Polarisationsrichtung des Piezoelementes 8 gewährleisten die Erregung des zweiten Obertons der Längsschwingungen über dessen Länge und des zweiten Obertons der Biegeschwingungen über dessen Breite. Die Resonanzfrequenz f_n der über die Länge erfolgenden Längsschwingungen wird nach der Formel ermittelt:

$$f_n = \frac{Nn}{S} ,$$

wobei bedeuten: Nn - Frequenzkonstante des Materials.

Für die Biegeschwingungen wird die Resonanzfrequenz f_n angenähert nach der Formel errechnet:

$$f_n = \frac{B_1 \cdot a}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}} ;$$

$B_1 = 1,03$ - für den ersten Oberton der Biegeschwingungen,

$B_2 = 2,83$ - für den zweiten Oberton der Biegeschwingungen,

wobei bedeuten: a - Piezoelementdicke,
 L - Piezoelementlänge,
 E - Youngscher Modul des Piezoelementmaterials,
 ρ - Piezoelementdichte.

In der betrachteten Konstruktion des piezoelektrischen Motors werden die beiden Vibratoren 7 des Ständers 2 (Fig. 37, 38) synphas erregt, d.h. derart, daß sich die Drehmomente des einen von diesen Vibratoren mit den Drehmomenten des anderen Vibrators summieren.

Dazu sind die beiden Piezoelemente 8 des Ständers 2 parallel-

geschaltet und so angeordnet, daß ihre Polarisationsrichtungen symmetrisch in bezug auf eine Ebene BB verlaufen, die senkrecht zur Achse 15 des Läufers 3 steht und zwischen den Piezoelementen 8 des Ständers 2 geht.

Die Befestigung der Vibratoren 7 des Ständers 2 an der Lagerung (in den Figuren nicht dargestellt) erfolgt mit Hilfe von Stäben 33, die an die Piezoelemente 8 im Minimum der Schallschnellen der über die Länge der Piezoelemente 8 erfolgenden Längsschwingungen des zweiten Obertons angeschlossen sind.

Im elektrisch reversierbaren piezoelektrischen Motor mit passivem Läufer (Fig. 6, 12, 15) enthält der Vibrator 7 ein Piezoelement 8 mit drei Elektroden 10, 11, 21. Die Elektrode 21 in solchen Konstruktionen dient zur Erregung zweier verschiedener Schwingungstypen und wird deshalb gemeinsame Elektrode genannt, während die zwei anderen Elektroden 10, 11 zur Erregung nur eines Typs der Schwingungen notwendig sind.

Zur Durchführung der Reversierung wird die gemeinsame Elektrode 21 an einen Pol der elektrischen Stromquelle 5 (Fig. 12) und die Elektrode 10 unmittelbar an den zweiten Pol der Quelle 5 angeschlossen. Die Elektrode 11 wird an die elektrische Stromquelle 5 über die Phasenschiebereinrichtung 6, einen einpoligen Schalter 34 und eine Invertierungseinrichtung 35 an denselben Pol der Quelle 5 angeschlossen, an welchen die Elektrode 10 angeschaltet ist. Als Invertierungseinrichtung wird zweckmäßigerweise ein elektrischer Transformator verwendet.

509886/0381

Im Falle, wenn der piezoelektrische Motor zwei Paare von getrennten Elektroden 10, 11 und 21, 31 (Fig. 11, 14, 39) besitzt, von denen jedes seinen Typ der akustischen Schwingungen im Piezoelement 8 des Vibrators 7 erregt, wird die elektrische Reversierung des piezoelektrischen Motors durch Umschalten zweier Elektroden, beispielsweise 10, 11, zustandegebracht. Diese Umschaltung erfolgt mittels eines bipolaren Schalters 36 (Fig. 11). An ihn ist ein Elektrodenpaar 10, 11 angeschlossen, während das zweite Paar 21, 31 unmittelbar an die elektrische Stromquelle 5 angeschlossen ist.

Analog wird die Schaltung des elektrisch reversierbaren piezoelektrischen Motors mit aktivem Läufer und Ständer ausgeführt. Der Unterschied besteht lediglich darin, daß an den bipolaren Schalter 36 die Elektroden 10', 11' angeschlossen sind, während die Elektroden 10, 11 unmittelbar an die nicht dargestellte elektrische Stromquelle angeschlossen sind.

In der Regel wird der piezoelektrische Motor in das Schema des Umsetzers der Gleichspannung in die Wechselspannung mit einer Frequenz eingeschaltet, die der Resonanzfrequenz des Motors (Fig. 40, 41) gleich ist. Zur Verwirklichung der Rückkopplung wird in einem solchen Umsetzer zweckmäßigerweise mindestens eine Elektrode 37 als Rückkopplungs-Spannungsquelle verwendet. Dazu wird die Elektrode 37 an den Eingang eines Transistors 38 angeschlossen, der ein Verstärkerelement im Rückkopplungskreis des Umsetzers (Fig. 40) darstellt. Im Schema des Gleichspannungsumsetzers mit zwei Verstärkerelementen - den

Transistoren 38 (Fig. 41) - ist das Piezoelement 8 mit zwei Rückkopplungselektroden 37 ausgeführt. Eine solche Anordnung gestattet es, aus dem Schema das induktive Element 39 (Fig. 40) auszuschließen, welches im Schema mit nur einem Transistor 38 notwendig ist.

Der elektrisch reversierbare piezoelektrische Motor mit zwei Paaren von Elektroden 10, 11 und 21, 31 (Fig. 11, 14) kann nur ein Piezoelement 8 enthalten. In einer der möglichen Konstruktionen eines solchen piezoelektrischen Motors (Fig. 11) enthält er den Vibrator 7 des Ständers in Form eines zweischichtigen Piezoelementes mit zwei gesonderten Elektroden 21, 10. An jeder Ebene der Schicht 22 bilden die Elektroden im Piezoelement 8 zwei elektrisch nicht gekoppelte Zonen 28, 32. Die Polarisierung der Schichten 22 in der Zone 32 ist in einer Richtung und in der Zone 28 in entgegengesetzten Richtungen zustandegebracht, wobei an den entgegengesetzten Außenflächen der Schichten 22 des Piezoelementes 8 befindliche metallisierte Überzüge miteinander verbunden sind und Elektroden 10, 21 bilden. Die betrachtete Ausführung des Piezoelementes 8 gestattet es, einen Vibrator 7 des Ständers 2 zu erhalten, der im ersten Oberton der Langsschwingungen entlang der Piezoelementlänge und im höchsten Oberton der Biegeschwingungen entlang der Piezoelementlänge arbeitet.

Auf der Grundlage der oben betrachteten Konstruktion des piezoelektrischen Motors wird auch ein piezoelektrischer Motor mit mehreren Läufers (Fig. 42) hergestellt. Dazu wird an einem

Ständer 2 mindestens noch ein zusätzlicher Läufer 40 (40') angeordnet, der ebenfalls an den Ständer 2 angedrückt ist. Das Andrücken des Ständers 2 und der Läufer 3, 40, 40' aneinander erfolgt mittels Ausnutzung der elastischen Eigenschaften des Piezoelementes 8 bei dessen vorläufiger Biegung, die beim Zusammenbau des piezoelektrischen Motors vorgenommen wird. Die Verwendung mehrerer Läufer gestattet es, das Drehmoment zu mehreren Belastungen zu übertragen.

Von praktischem Interesse ist die Ausführung der Teile 26 des Läufers des piezoelektrischen Motors in Form von zwei Rotationskörpern, beispielsweise als Kegelstumpf (Fig. 6), die an der Welle 15 längs ihrer Achse verschiebbar angeordnet sind. Um den Läufer 3 und den Ständer 2 aneinander anzudrücken, sind die vorerwähnten Teile 26 des Läufers 3 an die Seitenflächen des Ständers 2 mittels eines Andrückelementes 13' des Läufers 3 angepreßt, welches als eine an diesen Teilen 26 befestigte Feder ausgebildet ist.

In einer ähnlichen Konstruktion des piezoelektrischen Motors sind die beiden Teile 26 des Läufers 3 (Fig. 43) starr auf der Welle 15 des Läufers 3 befestigt, wobei der Läufer 3 eine Seite des Ständers 2 mit nur einem Teil 26 des Läufers 3 berührt. Durch Verschieben des ganzen Läufers 3 in axialer Richtung mittels eines Hebels 41 kann man die mechanische Umlaufrichtungsumkehr des Motors bewerkstelligen. Dazu wird an den Hebel 41 eine mechanische Kraft F angelegt, Damit jedoch

509886/0331

die Reversierung zustandekommt, müssen die den Läufer 3 berührenden Stirnflächen des Vibrators 7 des Ständers 2 eine Drehung in unterschiedlichen Richtungen erfahren. Dies wird dadurch erreicht, daß der Vibrator 7 des Ständers 2 und sein Piezoelement 8 als Hohlzylinder mit Elektroden 10, 11 ausgebildet sind, welche sich an den Stirnflächen des Hohlzylinders befinden. Dabei ist die Polarisierung der einen Hälfte des Piezoelementes 8 über die Höhe des Zylinders verwirklicht, während der übrige Teil des Piezoelementes 8 längs der Kreislinie parallel zu den Elektroden 10, 11 polarisiert ist.

Die mechanische Reversierung kann auch in den einfachsten Konstruktionen der piezoelektrischen Motoren mit dem als Platte ausgebildeten Vibrator 7 des Ständers 2 bewerkstelligt werden, in welcher Platte die Längsschwingungen erregt werden. Dazu ist der Ständer 2 (Fig. 44) mit zwei Vibratoren 7 versehen, die mit ihrem einen Ende an einem Gelenk 42 befestigt sind, und zwischen den anderen Enden des Vibrators 7 wird der Läufer 3 angeordnet, der an das Ende eines der Vibratoren 7 durch eine Reversiereinrichtung 43 angedrückt wird. Als Reversiereinrichtung 43 kann ein Elektromagnet 44 verwendet werden. Dazu befestigt man am Ende eines der Vibratoren 7 einen Körper 44' aus einem Stoff mit ferromagnetischen Eigenschaften, der an den Elektromagnet 44 angezogen wird und die Drehrichtungs-umkehr des Motors bewerkstelligt.

Man muß in Betracht ziehen, daß der piezoelektrische Motor

509886/0331

mit elektrischer Reversierung eine optimale Phasenbeziehung zwischen den Typen der im Vibrator erregten Schwingungen hat. Deshalb wird zweckmäßigerweise mindestens ein Elektrodenpaar über die Phasenschiebereinrichtung 6 (Fig. 1) eingeschaltet. Das kann das Elektrodenpaar 10, 11 (Fig. 4), das Elektrodenpaar 10, 21 (Fig. 15), das Elektrodenpaar 10, 11 (Fig. 39) sein.

Es sei auch bemerkt, daß für alle Konstruktionen der piezoelektrischen Motoren wie auch für alle anderen elektrischen Motoren die Plätze von Läufer und Ständer ausgetauscht werden können.

Dazu wird der Läufer unbeweglich befestigt, und er wird zum Ständer, während der frühere Ständer umzulaufen beginnt und zum Läufer wird. Wenn unter der früheren Ständer einen Vibrator enthält, so muß er für die Zuführung der elektrischen Spannung zu ihm mit Gleitkontakten versehen sein. Und umgekehrt können die Gleitkontakte des ehemaligen Läufers eliminiert werden.

Ebenso wie elektrische Motoren mit Wechselwirkung der magnetischen Felder stellen die piezoelektrischen Motoren ein umkehrbares System dar. Das bedeutet, daß wenn man die Welle 15 (Fig. 15) des Läufers 3 des piezoelektrischen Motors mit einem äußeren Antrieb 45 verbindet und wenigstens ein Elektrodenpaar zumindest eines Vibrators an eine elektrische Belastung 46 anschließt, so tritt an der Belastung 46 die Wechselspannung auf. Dieser Effekt wird für alle Konstruktionen der in der vorliegenden Erfindung beschriebenen piezoelektrischen Motoren beobachtet, deswegen können sie alle im Generatorbetrieb als

509886/0381

wicklungslose Geber der Umwandlung von mechanischer Energie in elektrische eingesetzt werden.

Wenn jedoch unter allen beschriebenen Motoren elektrisch reversierbare Motoren verwendet werden, so können auf ihrer Grundlage Generatoren zur Elektroenergieerzeugung (Fig. 46, 47, 48) erhalten werden. Für diese Zwecke wird ein Elektrodenpaar 10, 11 (Fig. 46) des Piezoelementes 8 des Vibrators 7, das zur Erregung von Schwingungen dient, welche den Grad des Andrückens des Läufers 3 an den Ständer 2 verändern, an die elektrische Stromquelle 5 angeschlossen, während ein zweites Elektrodenpaar 11, 21, das zur Erzeugung eines Bewegungsimpulses des Läufers 3 dient, an die Belastung 46 angeschlossen wird.

Im piezoelektrischen Motor mit einem Piezoelement mit drei Herausführungen (Fig. 12, 15) dienen die Elektrode 10 und die gemeinsame Elektrode 21 zur Erregung von Schwingungen, welche den Grad des Andrückens des Läufers 3 an den Ständer 2 verändern, während die Elektrode 11 und die gemeinsame Elektrode 21 zur Erzeugung eines Bewegungsimpulses des Läufer 3 dienen. Deshalb sind bei der Arbeit der in Rede stehenden piezoelektrischen Motoren im Betrieb als Generator der Elektroenergie die Elektroden 10, 21 (Fig. 46) an die elektrische Stromquelle 5 und die Elektroden 11, 21 an die Belastung 46 angeschlossen. Im piezoelektrischen Motor mit vier Elektroden (Fig. 6, 11, 14, 37, 38) sind die Elektroden 10, 11 (Fig. 47) an die elektrische Belastung 46 angeschlossen.

509886/0381

Im piezoelektrischen Motor mit aktivem Läufer und Ständer (Fig. 4, 17, 19, 21, 34, 35, 36) sind die Elektroden 10', 11' des Piezoelementes 8' des Läufers 3 an die elektrische Stromquelle 5 und die Elektroden 10, 11 des Piezoelementes 8 des Ständers 2 an die Belastung 46 (Fig. 48) angeschlossen.

Der piezoelektrische Motor arbeitet folgenderweise.

Beim Anschluß des piezoelektrischen Motors an die Wechselspannungsquelle 5 (Fig. 1) wird den Elektroden 10, 11 (Fig. 2) des Piezoelementes 8 des Vibrators 7 Spannung zugeführt. Diese wird infolge des reziproken Piezoeffektes in mechanische Schwingungen umgewandelt, die sich über den Vibrator 7 ausbreiten und jeden Punkt dieses Vibrators mechanisch erregen. Sich von der Trennungsgrenze mit dem umgebenden Medium reflektierend bewegen sich die mechanischen Schwingungen in der Rückwärtsrichtung und bilden Vorwärts- und Rückwärtswellen der akustischen Schwingungen. Bei den Frequenzen, die den Resonanzfrequenzen nahekommen, bilden sämtliche direkten und reflektierten Wellen, indem sie sich summieren, eine stehende Welle der mechanischen Schwingungen. Wenn dabei über die Länge des Vibrators eine Hälfte der Wellenlänge Platz findet, so ist eine Resonanz im ersten Oberton zu verzeichnen, wenn aber zwei Halbwellen hineinpassen, so wird eine Resonanz im zweiten Oberton der mechanischen Schwingungen beobachtet usw. Die Verteilung der Schallschnellen über die Länge des Vibrators 7 hat einen kosinusförmigen Charakter, so daß an den Stirnseiten stets ein

Maximum der Schallschnellen beobachtet wird. Die im Maximum der Schallschnellen angeordnete Zwischenlage 18 überträgt die Schwingungsenergie zum Läufer 3, welche in ständige Drehung des Läufers 3 umgewandelt wird.

Auf diese Weise ist die Zwischenlage 18, die die Oberfläche des Läufers 3 berührt, gezwungen, bei ihrer Längsbewegung von der fortschreitenden Bewegung abzuweichen, und deshalb verschiebt sich längs dem Kreisumfang des Läufers 3, indem sie diesen aufgrund der Reibungskräfte mitnimmt. Hierbei erhält der Läufer 3 einen Drehimpuls in der durch Pfeil in Fig. 2 gezeigten Richtung. Von der Längsbewegung abweichend erlangt die Zwischenlage 18 einen Querbewegungsimpuls, d.h. einen Biegeimpuls. Dieser Biegeimpuls, indem er sich von der Grenze der Berührung von Läufer 3 und Ständer 2 reflektiert, pflanzt sich über die Länge des Vibrators 7 mit der Geschwindigkeit der Biegewellenausbreitung fort.

Hierbei ist in einem der höchsten Obertöne der Biegeschwingungen die Resonanz dieser Schwingungen zu verzeichnen. Es erweist sich also, daß die Punkte des Vibrators 7, die den Läufer 3 berühren, in zwei zueinander senkrechten Richtungen schwingen; wodurch diese Punkte elliptische Rahmen beschreiben. Im speziellen Fall, wenn sie sich längs der Kreislinie bewegen, bilden sie gleichsam eine umlaufende Welle, die, indem sie den Läufer 3 berührt, auf diesen die Drehbewegung überträgt. Je größer die Schwingungsamplitude ist, um so größer ist der Durchmesser der Welle und um so schneller rotiert der

509886/0381

7530045

Läufer 3. Und andererseits, je höher ist die Schwingungsfrequenz, desto höher ist die Drehgeschwindigkeit der Welle und folglich höher die Rotationsgeschwindigkeit des Läufers 3, und auch je geringer ist der Durchmesser des Läufers 3, desto höher ist seine Rotationsgeschwindigkeit. Also hängt die Drehzahl des betrachteten piezoelektrischen Motors von den Abmessungen des Läufers 3 ab. Diese Drehzahl ist der Schwingungsamplitude und -frequenz proportional. Durch Steuerung der Schwingungsamplitude und der Speisespannungsfrequenz des Motors können Umlaufgeschwindigkeiten des Motors von einigen Umdrehungen bis zu mehreren tausend Umdrehungen in der Minute erhalten werden.

Die oben behandelte Arbeitsweise des piezoelektrischen Motors ist nicht die einzig mögliche, die seine Arbeit erläutert. Zu Grunde der zweiten Erläuterung des Arbeitsprinzips des piezoelektrischen Motors mit passivem Läufer liegt der Verkeilungseffekt. Dieser Effekt besteht darin, daß bei der Rotation des Läufers 3 entgegen dem Uhrzeigersinn das Verkeilen und im Uhrzeigersinn das Loskeilen stattfindet. Der Verkeilungseffekt besteht darin, daß das an den Läufer 3 angegedrückte Ende des Vibrators 7 ein Drehmoment erfährt, welches es in den Spalt zwischen dem Vibrator selbst und dem Läufer 3 hineinzieht. An einem Modell sieht es also so aus, als wenn der Vibrator 7 in einem gewissen Abstand vom Läufer befindlich und in den Spalt zwischen ihnen ein Keil eingesetzt wäre. Bei der Rotation des Läufers 3 im Uhrzeigersinn wird der Keil in den Spalt hineingezogen und bei der Rotation des Läufers in

509886/0381

der entgegengesetzten Richtung wird der Keil aus dem Spalt hinausgestoßen. Der Verkeilungseffekt führt dazu, daß bei der Vorwärtsbewegung des Endes des Vibrators 7 zusammen mit dem Läufer 3 die Reibungskräfte um vieles die bei der Rückwärtsbewegung des Vibratorendes auftretenden Kräfte übersteigen.

Auf diese Weise bewegt sich der Läufer 3 vorwärts, und bei der Rückwärtsbewegung gleitet das Ende des Vibrators 7 am Läufer durch.

Ein anderes Arbeitsprinzip des Motors ist dem piezoelektrischen Motor mit passivem Ständer (Fig. 3) zugrunde gelegt. Beim Anschluß des Läufers 3 mittels der Gleitkontakte 17 an eine in der Fig. nicht gezeichnete elektrische Stromquelle werden im Piezoelement 8' radiale Resonanzschwingungen erregt. Dadurch bewegt sich jeder Punkt an der Oberfläche des Piezoelementes 8' längs dem Radius der Kreislinie des Piezoelementes 8'. Beim Zusammenstoß mit der Platte 16 des Ständers 2 erhält der Punkt ihrer Berührung einen Bewegungsimpuls in Richtung des Kreisumfangs des Läufers 3. Dieser Effekt ist dem Effekt ähnlich, welcher beim Zusammenstoß zweier Kraftfahrzeuge beobachtet wird. Bekanntlich heben sich beim Zusammenstoß zweier Kraftfahrzeuge deren vordere Teile nach oben. Aus demselben Grunde hebt sich auch der Berührungspunkt von Läufer 3 und Ständer 2 nach oben und erteilt dem Läufer 3 einen Drehimpuls. Das weitere geschieht ebenso wie in der Konstruktion mit passivem Läufer 3 (Fig. 2), d.h. die Bewegung des Berührungspunktes von Läufer 3 und Ständer 2 führt periodisch zur Biegung der Platte 16

usw. Nicht an letzter Stelle steht auch hier der Verkeilungseffekt, der zur Verminderung der Reibungskräfte bei der Bewegung des Berührungspunktes von Läufer 3 und Ständer 2 zum Mittelpunkt des Piezoelementes 8 führt.

Ganz einfach arbeitet der Motor mit aktivem Läufer 3 und Ständer 2 (Fig. 4), In dieser Konstruktion befindet sich eines der Maxima der Schallschnellen im Zentrum der Platte des Vibrators 7, da in seinem Piezoelement 8 der zweite Oberton der Längsschwingungen erregt wird. Auf diese Weise schwingt die am Ständer 2 befestigte Zwischenlage 18 in horizontaler Richtung und überträgt bei der Berührung mit dem Läufer 3 auf diesen einen Bewegungsimpuls. Die Schwingungen im Piezoelement 8' des Läufers 3 verändern den Anpreßdruck zwischen Läufer 3 und Ständer 2. Wenn dabei der Eingriff in dem Augenblick geschieht, wenn sich die Zwischenlage 18 nach rechts bewegt, so bewegt sich der Läufer 3 im Uhrzeigersinn. Es genügt die Enden des Piezoelementes 8 (oder 8') umzuschalten, und der Eingriff findet im Augenblick statt, wenn sich die Zwischenlage 18 nach links bewegt, wobei infolgedessen der Läufer 3 sich im Gegen- uhrzeigersinn bewegt.

In den Konstruktionen der piezoelektrischen Motoren mit zwei Typen von elektrisch erregten Schwingungen in einem Vibrator verändert der eine Typ der Schwingungen das Andrücken des Läufers 3 an den Ständer 2, während der andere Typ der Schwingungen den Bewegungsimpuls zum Läufer 3 überträgt. Beispielsweise übertragen in der Konstruktion des Vibrators 7 (Fig. 6), der die Torsions- und Scherschwingungen über die Dicke des Hohl-

509886/0381

zylinders ausnutzt, die Torsionschwingungen das Bewegungsmoment auf den Läufer 3 und die Scherschwingungen sorgen für den Eingriff des Läufers 3 und des Ständers 2.

In der Konstruktion des piezoelektrischen Motors, in der im Vibrator 7 (Fig. 11) Längs- und Biegeschwingungen erregt werden, sorgen für die Veränderung des Andrückens von Läufer 3 und Ständer die Biegeschwingungen. In der Konstruktion mit dem Vibrator 7 (Fig. 12), der Torsions- und Längsschwingungen über die Höhe des Hohlzylinders ausnutzt, führen die letzteren die Veränderung des Andrückens von Läufer 3 und Ständer 2 herbei.

In der Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit dem Vibrator 7 des Ständers 2 (Fig. 13), in dem Längs- und Radialschwingungen erregt werden, bringen die Längsschwingungen die Veränderung des Andrückens von Läufer 3 und Ständer 2 zustande.

In der Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit dem Vibrator 7, in dem Scherschwingungen in zwei Richtungen (Fig. 14) erregt werden, übertragen die Scherschwingungen über die Dicke des Hohlzylinders in Kreisumfangsrichtung einen Bewegungsimpuls zum Läufer 3, während die Scherschwingungen über die Dicke in Richtung der Mantellinie des Zylinders die Veränderung des Andrückens von Läufer 3 und Ständer 2 bewirken.

In der Konstruktion des Motors mit dem Vibrator 7, in dem Längsschwingungen über die Dicke und Scherschwingungen über die Dicke des Piezoelementes 8 (Fig. 15) erregt werden, bewirken die Längsschwingungen die Veränderung des Andrückens

509886/0381

von Läufer 3 und Ständer 2.

In der Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit den Vibratoren 7 des Ständers 2, in jedem von denen Längsschwingungen über die Länge und Biegeschwingungen über die Breite des Vibrators 7 (Fig. 37, 38) erregt werden, bewirken die Biegeschwingungen die Veränderung des Andrückens von Läufer 3 und Ständer 2.

In den piezoelektrischen Motoren mit aktivem Läufer 3 und Ständer 2 bringt in der Regel der Läufer 3 die Veränderung des Andrückens von Läufer 3 und Ständer 2 zustande. Beispielsweise bewirkt in den Konstruktionen mit aktivem Läufer 3 und Ständer 2 (Fig. 19, 21, 35, 36) der Vibrator 7' des Läufers 3 die Veränderung des Andrückens von Läufer 3 und Ständer 2, in welchem Radialschwingungen erregt werden. In der Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit dem Vibrator 7 (Fig. 17) des Ständers 2 mit Erregung von Radialschwingungen des dritten Obertons bewirkt der Vibrator 7 des Ständers 2 die Veränderung des Andrückens von Läufer 3 und Ständer 2. Hierbei erklärt sich die Wahl des höchsten Obertons der Radialschwingungen durch die Notwendigkeit der Übereinstimmung der hochfrequenten Scherschwingungen mit den verhältnismäßig niederfrequenten Radialschwingungen.

Die Arbeit des piezoelektrischen Motors mit mehreren Vibratoren 7 (Fig. 5), welche am Ständer befestigt sind, unterscheidet sich nicht von der Arbeit des Motors mit nur einem Vibrator 7 (Fig. 2). Jedoch steigt die Leistung an der Motorwelle

509886/0381

proportional der Zahl der Vibratoren 7 und kann einige Dutzend Watte an der Welle des Motors betragen.

Die Anbringung statt einer (Fig. 3) mehrerer Platten 16 (Fig. 9, Fig. 10, Fig. 32) am Ständer 2 oder dem Läufer 3 ändert nicht das Arbeitsprinzip des piezoelektrischen Motors, gestattet es jedoch, den Verschleiß dieser Platten zu verringern und die Effektivität der Umwandlung von mechanischer Energie des Vibrators 7 in die Rotationsenergie des Läufers zu steigern, was auch zur Erhöhung des Wirkungsgrades des Motors führt.

Der Anschluß von mehreren Läufern 3, 40 und 40' (Fig. 42) an die elektrische Stromquelle erhöht ebenfalls den Gesamtwirkungsgrad des piezoelektrischen Motors, da der Anteil der Nutzleistung im Verhältnis zu den Energieverlusten im Vibrator 7 zunimmt.

Das Kräftemoment an der Welle des piezoelektrischen Motors hängt in bedeutendem Maße vom Anpreßdruck zwischen Läufer 3 und Ständer 2 ab.

In den einfachsten Konstruktionen, in denen der Läufer 3 (Fig. 7, 8) an den Ständer 2 an einer Stelle angedrückt ist, wird die vom Andrückelement 13 aufgebrachte Kraft auf die Lager 4 übertragen und ruft deren Verschleiß hervor. In den Konstruktionen, in denen der Läufer 3 den Ständer 2 an mehreren Stellen berührt, die symmetrisch am Kreisumfang (Fig. 9, 10, 16, 19, 22, 32, 34, 35, 36, 37, 38) verteilt sind, wird der Verschleiß der Lager 4 durch gegenseitige Kompensation sämtlicher seitens des Läufers 3 auf die Lager 3 wirkenden Kräfte aus-

509886/0381

geschlossen. Hierbei genügt es, das Andrücken von Läufer 3 und Ständer 2 an drei Stellen sicherzustellen, damit der Motor ohne Lager (Fig. 5, 9, 10, 16, 32) arbeiten kann.

In den Konstruktionen der piezoelektrischen Motoren, bei denen das Andrückelement 13 an der Welle 15 (Fig. 15) angebracht und zwischen dem Lager 4 und dem Läufer 4 angeordnet ist, wird aufgrund des Andrückelementes 13' eine gewisse Bremsung des Läufers 3 erzeugt. Die Anbringung des Andrückelementes 13' am Läufer 3 (Fig. 6, 12, 37, 38) beseitigt diesen Effekt. Dieselbe Aufgabe löst auch die Anordnung von zwei Andrückelementen 13' am Läufer 3 (Fig. 14, 35, 36).

Bei der Erregung von zwei Schwingungstypen im piezoelektrischen Reversiermotor ergibt sich nicht immer das optimale Phasenverhältnis zwischen den Typen der Schwingungen, welche die Übertragung des Bewegungsmomentes und die Veränderung des Andrückens von Läufer und Ständer zustandebringen. Deshalb wird zur Korrektur der Phasenverhältnisse das Paar der Elektroden 11, 21 (Fig. 12), die für die Erregung eines Schwingungstyps sorgen, zweckmäßigerweise über die Phasenschiebereinrichtung 6 angeschlossen. Da hierbei die für die Veränderung des Andrückens von Läufer 3 und Ständer 2 aufgenommene Leistung meist beträchtlich geringer ist als die für die Erzeugung des Bewegungsmomentes des Läufers 3 aufgenommene Leistung, wird die Phasenschiebereinrichtung 6 zweckmäßig an die Elektroden angeschlossen, welche die Veränderung des Andrückens von Läufer 3 und

509886/0321

Ständer 2 zustandebringen.

Um die Reversierung des Motors mit dem als Hohlzylinder ausgebildeten Ständer 2 (Fig. 43) durchzuführen, schwenkt man den Hebel 41 um einen gewissen Winkel und verschiebt auf diese Weise den Läufer 3. Hierbei wird im Piezoelement 8 ein ungeradzahliges, beispielsweise der dritte Oberton der Torsionsschwingungen und der erste Oberton der Längsschwingungen (an der Mantellinie des Zylinders) erregt. Eine solche Kombination der Nummern der Obertöne entspricht den entgegengesetzten Drehrichtungen des Läufers 3 im Falle seines Andrückens jeweils an den Ständer 2 von links und an den Ständer 2 von rechts.

In der Konstruktion des piezoelektrischen Motors mit mechanischer Reversierung (Fig. 44) besorgt der Vibrator 7 des Ständers im Ausgangszustand die Rotation des Läufers 3 im Uhrzeigersinn. Beim Anschluß der Reversiereinrichtung 43 erfolgt die Anziehung eines Teils des Elektromagneten 44'. Die Kraft des Andrückelementes 13 überwindend, setzt er den einen Vibrator 7 mit dem Läufer 3 außer Eingriff und bringt den zweiten Vibrator 7 in Eingriff. Auf diese Weise verändert der Läufer 3 seine Rotationsrichtung.

Eine der Besonderheiten der piezoelektrischen Motoren ist die Möglichkeit ihrer Arbeit in einem weiten Bereich der Werte der elektrischen Speisespannungen. Dabei wird dies nicht durch Komplizierung der Konstruktion, wie etwa Vergrößerung der Windungszahl u.ä., sondern durch die Wahl einer optimalen Konstruktion des Piezoelementes selbst erreicht. Wenn z.B. eine

509886/0381

elektrische Stromquelle mit großer Eingangsspannung benutzt wird, so wird die letztere über die Breite des Piezoelementes (Fig. 24b) oder über die Länge des Piezoelementes (Fig. 24, 29) angelegt. Die Spannung nimmt um das 2-5fache zu, wenn die Reihenschaltung der Teile des Piezoelementes verwendet wird (Fig. 25, 27, 28b).

Viele von den geschilderten Vorteilen der piezoelektrischen Motoren bleiben auch bei deren Arbeit im Betriebszustand der Elektroenergieerzeugung in Kraft. Hierbei beruht die Arbeit der nicht reversiblen Motoren im Zustand der Energieerzeugung auf folgendem. Bei der Rotation des Läufers 3 (Fig. 2) in Verkeilungsrichtung findet das Verkeilen und als Folge hiervon das Zusammendrücken des Vibrators 7 des Ständers 2 statt. Dieses Zusammendrücken geschieht bis zu einem bestimmten Wert, worauf das Abreißen des Eingriffs erfolgt. In diesem Augenblick gleitet der Läufer 3 um einen kleinen Winkel durch, während der Vibrator 7 in die Ausgangslage kommt, indem er dabei eine Längs- und eine Querschwingung vollführt. Ein Typ dieser Schwingungen, der das Bewegungsmoment des Läufers 3 erzeugt, wird bei der Einschaltung des piezoelektrischen Motors als Motor infolge des direkten Piezoeffektes in elektrisches Signal umgewandelt. Das Spektrum dieses Signals enthält meist mehrere Obertöne, weshalb die Leistung des erzeugten Signals nur zur Fixierung der Rotation des Läufers 3 ausreichend ist, was es gestattet, sie als Drehungsgeber beispielsweise zur Mes-

sung der Motordrehzahl zu benutzen.

Durch Verbrauch einer gewissen Energie von äußeren elektrischen Stromquelle 5 (Fig. 46, 47, 48) für die Erregung von Schw~~u~~ngungen im Vibrator des Ständers (Fig. 46, 47) oder des Läufers 3 (Fig. 48) zwecks Eingriffs des Läufers 3 mit dem Ständer 2 kann man einen zur Erzeugung der Elektroenergie geeigneten Generator erhalten. In diesem Fall überträgt der Läufer 3 bei seiner Rotation Impulse der mechanischen Energie zum Piezoelement 8 mit der Eingriffshäufigkeit. Diese Impulse erregen den Vibrator 7 mit der Eingriffshäufigkeit und werden in elektrisches Signal im Piezoelement 8 mit einer Frequenz umgewandelt, die der Betriebsfrequenz des piezoelektrischen Motors gleich ist

Die Verwendung des piezoelektrischen Motors als Generator ist zur Gewinnung kleiner Leistungen gerechtfertigt. Sie stimmen gut mit Antrieben überein, die mit geringen Drehzahlen arbeiten. Einfache Konstruktion und hohe Frequenz sind deren Hauptvorteile.

Die Schaffung der piezoelektrischen Motoren ist als qualitativer Sprung nicht nur im Motorenbau sondern auch insgesamt in der Elektrotechnik anzusehen. Die Möglichkeit, niedrige Geschwindigkeiten ohne zusätzliche Getriebe zu erhalten, das Fehlen von Wicklungen und als Folge davon die außerordentliche Einfachheit in der Herstellung, der niedrige Kostenpreis, die Unentzündbarkeit, die Möglichkeit zur Schaffung von einfachen technologiegerechten mikroskopischen Motoren unter Beibehaltung

der den herkömmlichen Motoren mit einer Leistung über ein Watt eigenen Parameter, die Einfachheit von Umformerschaltungen bei der Gleichspannungsspeisung, die Möglichkeit, einen 1 gleichen Kosinus des Verlustwinkels beim Anschluß der kleinen Induktivität, die Möglichkeit zur Steuerung der Umlaufgeschwindigkeit durch Ändern von Frequenz und Spannung sowie aufgrund der Phasenbeziehungen, die Möglichkeit zur Durchführung einer einfachen Stabilisierung der Umlaufgeschwindigkeit dank hoher Betriebsfrequenz, der hohe Wirkungsgrad, der 50 % überschreitet und gemäß den Berechnungsdaten aufgrund des Materials des Piezoelementes 90 % übersteigen kann, die hohe spezifische Leistung an der Welle, die 0,2 Watt je Kubikzentimeter übersteigt, der weite Bereich der Leistungen an der Welle von 0,001 W bis zu einigen Dutzend Watt - all diese Hauptvorteile der piezoelektrischen Motoren machen sie nicht nur konkurrenzfähig gegenüber den bekannten elektrischen Motoren, sondern gestatten es auch, den elektrischen Motoren neue Anwendungen zu finden. Im besonderen kann man annehmen, daß die Entwicklung der Integraltechnik, der elektronischen Schaltungen neben den piezoelektrischen Motoren und dem Fortschritt auf dem Gebiet der Energiequellen es ermöglichen werden, das Zivilisationsniveau auf eine höhere Stufe zu heben, die sich durch Ersetzung der menschlichen Arbeit durch selbständige bewegliche Systeme vom Roboter-Typ kennzeichnet.

Patentansprüche

1. Elektrischer Motor mit einem Ständer und mit einem Läufer, dadurch gekennzeichnet, daß der Ständer (2) und/oder der Läufer (3) zumindest einen Vibrator bzw. Schwinger (7,7') mit einem Piezoelement (8,8') aufweist, das an eine Spannungsquelle (5) angeschlossen ist, wobei zur Drehmomentübertragung der Ständer (2) und der Läufer (3) in mindestens einem Punkt auf der Oberfläche des Vibrators (7,7') aneinander angedrückt sind.

2. Elektrischer Motor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Läufer (3) am Ständer (2) mit Hilfe mindestens eines Lagers (4) montiert ist.

3. Elektrischer Motor nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest der Läufer (3) als Körper ausgebildet ist, bei dem der Teil der Oberfläche, der mit dem Ständer (2) in Berührung steht, durch Drehen mindestens eines Abschnitts einer geraden Linie um die Achse des Läufers (3) gebildet ist.

4. Elektrischer Motor nach einem der Ansprüche 1 - 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Ständer (2) als Körper ausgebildet ist, bei dem der mit dem Läufer (3) in Berührung stehende Teil der Oberfläche durch Drehen mindestens eines Abschnitts einer geraden Linie um die Rotationsachse des Läufers (3) gebildet ist.

509886/0381

5. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1, 2, 3, 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Läufer (3) als Drehkörper in bezug auf die Rotationsachse des Läufers gestaltet ist.

6. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1, 2, 3, 4, 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Ständer (2) als Vibrator (7) ausgebildet ist.

7. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6, dadurch gekennzeichnet, daß der Vibrator (7,7') an einer Lagerung mit Hilfe eines Stoffes befestigt ist, bei dem das Produkt aus Dichte mal Youngschem Modul mindestens zehnmal kleiner ist als das erwähnte Produkt für das Material des Piezoelementes (8,8') des Vibrators (7, 7').

8. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7, dadurch gekennzeichnet, daß im Ständer (2) ein Vibrator (7) für Längsschwingungen verwendet ist.

9. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7, dadurch gekennzeichnet, daß im Ständer (2) ein Vibrator (7) für Radialschwingungen verwendet ist.

10. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7, dadurch gekennzeichnet, daß im Ständer (2) ein Vibrator (7) mit Erregung von Längs- und Biegeschwingungen verwendet ist.

11. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7,

509886/0381

dadurch gekennzeichnet, daß im Ständer (2) ein Vibrator (7) mit Erregung von Torsions- und Radialschwingungen verwendet ist.

12. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7, dadurch gekennzeichnet, daß im Ständer (2) ein Vibrator (7) mit Erregung von Torsions- und Längsschwingungen verwendet ist.

13. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7, dadurch gekennzeichnet, daß im Ständer (2) ein Vibrator (7) mit Erregung von Scherschwingungen in zwei zueinander senkrecht stehenden Richtungen verwendet ist.

14. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7, dadurch gekennzeichnet, daß im Ständer (2) ein Vibrator (7) mit Erregung von Scher- und Längsschwingungen verwendet ist.

15. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7,8, dadurch gekennzeichnet, daß im Läufer (3) ein Vibrator (7') für Radialschwingungen verwendet ist.

16. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7,8,9, dadurch gekennzeichnet, daß im Läufer (3) ein Vibrator (7') für Scherschwingungen verwendet ist.

17. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7,8,9, dadurch gekennzeichnet, daß im Läufer (3)

ein Vibrator (7') für Torsionschwingungen verwendet ist.

18. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7,17, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Vibrator (7,7') an einer Lagerung (19) in mindestens einem Minimum der Schwingungsgeschwindigkeiten / ~~Schallschnecken~~ befestigt ist.

19. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2, 3,4,5,6,7,8,9, 10,11,12,13,14,15,16,17,18, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß zumindest der Vibrator (7) des Ständers (2) als Piezoelement (8) ausgeführt ist.

20. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2, 3,4,5,6,7,8,9, 10, 11, 12, 13, 14,15,16,17,18, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Vibrator (7) des Läufers (3) als Piezoelement (8) ausgeführt ist.

21. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1-20, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß zumindest das Piezoelement (8) des Vibrators (7), der zum Ständer (2) gehört, an der Berührungsstelle von Laufer (3) und Ständer (2) mit einer Zwischenlage (18) aus verschleißfestem Material versehen ist, die an das Piezoelement (8) akustisch angeschlossen ist.

22. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2, 3,4,5,6,7, 8,9,10,11,12,13, 14, 15,16,17,18,19,20,21, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Vibrator (7) als rechtwinklige Platte (6) ausgebildet ist.

23. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,5,6,7,8,10,14,

509886/0381

15, 16, 18, 19, 20, 21, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Vibrator (7) des Ständers (2) als Stab mit abnehmendem Querschnitt ausgebildet ist, wobei der Läufer (3) den Vibrator (7) am Ende des Stabes mit minimalem Querschnitt berührt.

24. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Vibrator (7) des Ständers (2) als Spiralenwindung ausgebildet ist, und zwischen den Enden dieser Spiralenwindung sich der Läufer (3) befindet.

25. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß zumindest der Vibrator (7) des Ständers (2) als Hohlzylinder ausgebildet ist.

26. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Vibrator (7') des Läufers (3) als Hohlzylinder gestaltet ist.

27. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 15, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Vibrator (7') des Läufers (3) als Zylinder gestaltet ist.

28. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 22, 23, 24, 25, 26, 27, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß das Piezo-element (8, 8') im Vibrator (7, 7') die Form des Vibrators (7, 7')

hat.

29. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 21,25,26,27,28, dadurch gekennzeichnet, daß die Zwischenlage (18) aus verschleißfestem Material als dünnwandiger Zylinder ausgebildet ist.

30. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7,8, 9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28, 29, dadurch gekennzeichnet, daß das Piezoelement (8,8') aus mindestens zwei Schichten (22) besteht, die akustisch miteinander verbunden und durch mindestens eine Elektrode (11,21,21',31) getrennt sind.

31. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7,8, 9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28, 29,30, dadurch gekennzeichnet, daß an die Oberfläche einer (10,11) der Elektroden eine Metallschicht (23) akustisch angeschlossen ist.

32. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7,8,9, 10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29, 30,31, dadurch gekennzeichnet, daß das Piezoelement (8,8') aus seignetteelektrischem Piezoelektrikum ausgeführt ist.

33. Elektrischer Motor nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß Piezoelement (8,8') aus keramischem Material ausgeführt ist.

509886/0381

34. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 32, 33, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, daß mindestens ein Teil des Piezo-
elementes (8,8') senkrecht zu seinen Elektroden (10,10',11,11'
21',31) polarisiert ist.

35. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 32,33,34, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß mindestens ein Teil
des Piezoelements (8,8') parallel zu seinen Elektroden pola-
risiert ist.

36. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7,8,
9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,
29,30,31,32,33,34,35, d a u r c h g e k e n n z e i c h -
n e t, daß das Andrücken des Läufers (3) und des Ständers
(2) aneinander mindestens ein Andrückelement (13,13'), bei-
spielsweise eine Feder besorgt.

37. Elektrischer Motor nach Anspruch 36, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, daß das Andrückelement (13,13')
mit dem einen Ende an der Lagerung (19) des Vibrators (7,7')
und mit dem anderen am Vibrator (7,7') angeordnet ist.

38. Elektrischer Motor nach Anspruch 36, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, daß das Andrückelement (13) mit
seinen Enden an zwei Vibratoren (7) des Ständers (3) an-
geordnet ist.

39. Elektrischer Motor nach Anspruch 36, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, daß das Andrückelement (13')

an Läufer (3) angeordnet ist.

40. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7,8, 9,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33, 34,35, 36,37,38,39, und durch gekennzeichnet, daß an die Elektroden (10',11') des Piezoelementes (6') des Vibrators (7') des Läufers (3) elektr. Kontakte (17) angebracht sind, die dem erwähnten Piezoelement Spannung zuführen.

41. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 25,28,30,31,32,33, 34, dadurch gekennzeichnet, daß die Elektroden (10,10',11,11') auf den Zylinderflächen des Hohlzylinders aufgebracht sind und das Piezoelement in der zu diesen Elektroden senkrechten Richtung polarisiert ist.

42. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 27,28,30,31,32,34, dadurch gekennzeichnet, daß das Piezoelement (6) in Form einer nach der Dicke polarisierten Scheibe mit Elektroden (10,11) an den Scheibenoberflächen ausgebildet ist.

43. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 30,31,32,33,34, 35,36,37,38,39,40,41,42, und durch gekennzeichnet, daß die Schichten (8,8') des Piezoelementes (8,8') parallel zu den Elektroden des Piezoelementes (6,6') angeordnet und untereinander parallelgeschaltet sind, wobei die benachbarten Schichten in entgegengesetzten Richtungen polarisiert sind.

44. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,5,7,8,15, 16,17,18,20,21,22,23,25,26,27,29,30,31,32,33,34,35,36,40,41, 42,43, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Läufer (3) innerhalb des Ständers (2) angeordnet ist, wobei der Ständer (2) als Hohlzylinder ausgebildet ist, in dessen Innerem symmetrisch in bezug auf die Rotationsachse des Läufers (3) Platten (16) mit ihrem einen Ende befestigt sind, wobei sie sich mit dem anderen Ende auf der Oberfläche des Läufers (3) abstützen.

45. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,4,6,7,9,18,19, 21,22,25,28,29,30,31,32,33,34,35,40,41, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Ständer (2) den Läufer (3) umfaßt, wobei an der Achse des Läufers (3) symmetrisch in bezug auf die Drehachse des Läufers (3) die Platten (16) mit ihrem einen Ende befestigt sind, während sich die erwähnten Platten auf der Oberfläche des Ständers (2) abstützen.

46. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,5,7,8,15, 18,20,21,22,26,27, 29,30,31,32,33,41,42,43, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß zwischen zwei parallel angeordneten Piezoelementen (8) des Ständers (2), die in Form von Platten ausgeführt sind, der Läufer (3) untergebracht ist, an welchen sie mittels zweier Andrückelemente (13) angedrückt werden, die an vier Haltern (9) des Vibrators (7) angebracht sind, in denen die erwähnten Piezoelemente derart befestigt sind,

509886/0381

daß jeder Halter (9) sich in einem Abstand von $1/4$ der Länge des Piezoelementes (8) von seinem Ende befindet, wobei sich die Halter (9) frei in vier Nuten der Lagerung (19) verschieben, während die erwähnten Piezoelemente Elektroden (10,10',11,11') an den entgegengesetzten Flächen enthalten und nach der Dicke senkrecht zu den besagten Elektroden in zwei gegenseitig entgegengesetzten Richtungen und in einer Richtung in bezug aufeinander polarisiert sind, wobei die Außenelektroden (10,11) ebenso wie die Innenelektroden (10,11') miteinander verbunden sind.

47. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,5,6,7,8,15,18, 20,25,26,27,28,29,30,31,32,33,36,37,39,40,41,42,43, da -
durch gekennzeichnet, daß das Piezoelement (8) des Ständers (2) den Läufer (3) symmetrisch umfaßt und Elektroden (10,11) an den Zylinderflächen besitzt, zu denen senkrecht es in gegenseitig entgegengesetzten Richtungen polarisiert ist, derart, daß es dabei durch die Polarisation in eine gerade Zahl gleicher Teile aufgeteilt wird, an deren Grenzen auf der Innenseite des Piezoelementes (2) die Zwischenlagen (18) aus verschleißfestem Material symmetrisch befestigt sind, deren Anzahl die Zahl der erwähnten Teile um die Hälfte unterschreitet.

48. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,7,15,26,28,29, 30,32,33,36,39,40,46,47, da durch gekennzeichnet, daß an der Welle (15) des Läufers (3) symmetrisch in

bezug auf den Ständer (2) zwei Piezoelemente (8') mit Elektroden (10', 11') an den Seitenflächen axial verschiebbar angeordnet sind, welche senkrecht zu diesen Elektroden polarisiert sind, und die erwähnten Piezoelemente an die aus verschleißfestem Material bestehenden Platten (18) des Ständers angebracht werden, deren Querschnitt ein gleichschenkliges Dreieck darstellt, wobei ebenso wie die Innenelektroden (10') die Außenelektroden (11') der Piezoelemente (8') miteinander verbunden sind, und in bezug aufeinander die Piezoelemente (8') in entgegengesetzten Richtungen polarisiert sind.

49. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1, 2, 4, 5, 7, 10, 18, 22, 28, 30, 31, 32, 33, 36, 38, 39, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Ständer (2) zwei Vibratoren (7) in Form von zweischichtigen piezoelektrischen Platten (29) enthält, an welche der Läufer (3) angebracht ist, wobei das Piezoelement (8) des Vibrators (7) einen Vibrator des zweiten Obertons der Längsschwingungen über die Länge der erwähnten Platten und des zweiten Obertons der Biegeschwingungen über die Breite der erwähnten Platten darstellt.

50. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 18, 19, 20, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß das Piezoelement (8) eine gemeinsame Elektrode (21), die an einen Pol der Speisequelle (5) angeschlossen wird, und eine Elektrode (11)

509886/0381

zur Erregung eines Typs der Schwingungen enthält, die an den anderen Pol der Speisequelle angeschlossen ist, während die zweite Elektrode (10) zur Erregung des anderen Typs der Schwingungen über einen Schalter (34) an die erste Elektrode (11) direkt und über eine Invertierungseinrichtung (35), beispielsweise einen Transformator der elektrischen Spannung, angeschlossen wird.

51. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7,8, 9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,25,26,27,28,29,30,31,32, 33,34,35,37,38,39,41,42,43,46,47,48, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß von den vier an die Speisequelle (5) angeschlossenen Elektroden (10,10',11,11') zwei Elektroden (10,11'), die zur Erregung eines Typs der Schwingungen dienen, an die Speisequelle (5) direkt angeschlossen sind, während zwei andere (10',11'), die zur Erregung des anderen Typs der Schwingungen dienen, an die Quelle (5) über einen bipolaren Schalter (36) angeschlossen sind.

52. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7, 8,9,10, 11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28, 29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48, 49,50,51, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß das Piezoelement (8,8') mindestens eine an eine Belastung anschließbare Zusatzelektrode (37) enthält.

53. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,6,7,10,18,19,

509886/0381

21,22,28,30,31,32,33,34,37,39,51,52, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Vibrator (7) des Ständers (2) ein zweischichtiges Piezoelement (8) mit zwei Elektroden (11,31) in jeder Ebene der Schichten (22) enthält, die im Piezoelement (8) zwei elektrisch nicht gekoppelte Zonen (28,32) mit Polarisation der Schichten (22) in der einen Zone in einer Richtung und in der zweiten Zone in entgegengesetzten Richtungen bilden, wobei die äußeren leitenden Beläge jeder Zone miteinander verbunden sind.

54. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,6,7,8,9,10,11, 12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,26,27,28,29,30,31,32,33, 34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,45,46,50,51,52,53, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der Motor zumindest einen zusätzlichen Läufer (40,40') enthält, der an den Ständer (2) angedrückt ist.

55. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,7,9,11, 12,13,14,15,16,18,19,21,25,28,30,31,32,33,34,35,36,39,41,43,47, 50,51,52, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß an der durch den Ständer (3) verlaufenden Welle (15) des Läufers (3) beiderseits vom Ständer (2) axial verschiebbar zwei Teile (26) des Läufers symmetrisch angeordnet sind, welche in Form eines Kegelstumpfes ausgebildet sind, wobei die erwähnten Teile (26) des Läufers (3) an die Flanken des Ständers (2) angedrückt sind.

56. Elektrischer Motor nach Ansprüchen 1,2,3,5,7,8,19,21,

22,23,28,30,31,32,33,34,43,52, d a d u r c h g e k e n n z e i c n n e t, daß der Ständer (2) mit zwei Vibratoren (7) versehen ist, die mit ihrem einen Ende an einem Gelenk (42) befestigt sind, während sich zwischen den Vibratoren (7) der Läufer (3) befindet, welcher an das Ende eines der Vibratoren (7) durch eine Reversiereinrichtung (43) angedrückt wird.

57. Elektrischer Motor nach Anspruch 56, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die Reversiereinrichtung (43) einen Elektromagnet (44) darstellt, und am Ende eines der Vibratoren (7) ein Teil (44') des Elektromagnets (44) befestigt ist.

58. Elektrischer Generator, der einen elektrischen Motor enthält, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der elektrische Motor nach Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11, 12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32, 33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,52,53,55, ausgeführt ist, sein Läufer (3) mit einem äußeren Antrieb (45) verbunden ist, der den Läufer (3) in Drehung versetzt, und mindestens ein Elektrodenpaar (11,21) beispielsweise zumindest eines Vibrators (7), welches zur Erregung eines Typs der Schwingungen dient, an eine elektrische Belastung (46) angeschlossen ist.

59. Elektrischer Generator nach Anspruch 58, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß der elektrische Motor nach

509886/0381

Ansprühen 1,2,3,4,5,6,7,10,11,12,13,14,18,19,20,21,22,23,24, 25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45, 49,52,55 ausgeführt ist, und daß das zweite Paar von Elektroden (10,21), von denen eine (21) auch die Elektrode des zweiten Elektrodenpaars (11,21) ist, an die elektrische Stromquelle (5) angeschlossen ist.

60. Elektrischer Generator nach Anspruch 58, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t, daß der elektrische Motor nach
Ansprüchen 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20, 21,22,23,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42, 43,44,45,46,47,48,49,52,53,55 ausgeführt ist, und das zweite Elektrodenpaar (21,31) zur Erregung des anderen Typs der Schwingungen an die elektrische Stromquelle (5) angeschlossen ist.

509886/0381

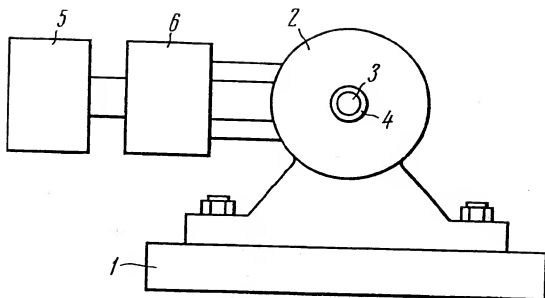


FIG. 1

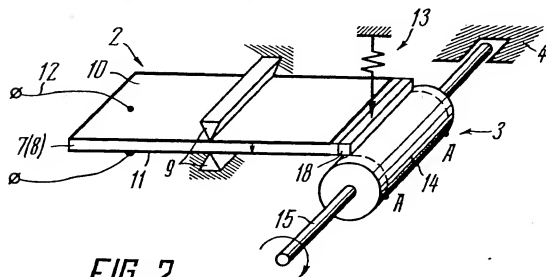


FIG. 2

509886/0381

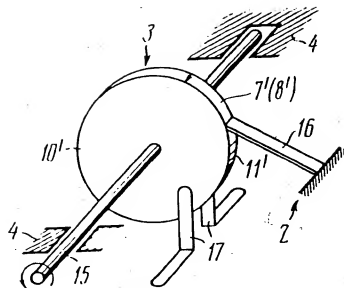


FIG. 3

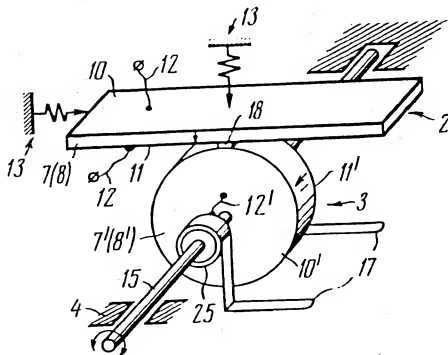


FIG. 4

509886/0381

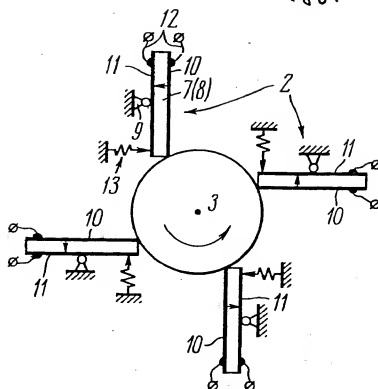


FIG. 5

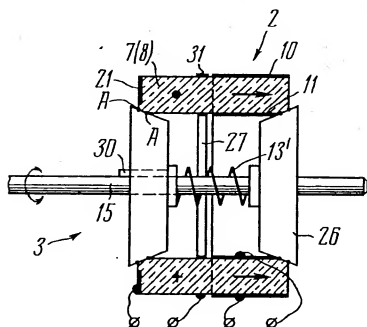


FIG. 6

509886/0381

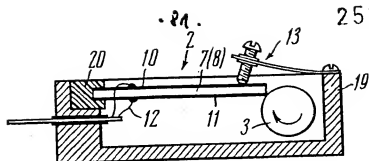


FIG. 7

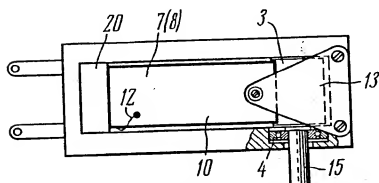


FIG. 8

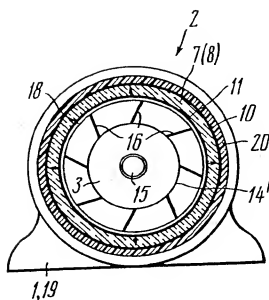


FIG. 9

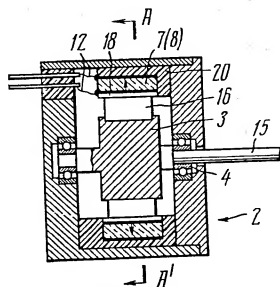


FIG. 10

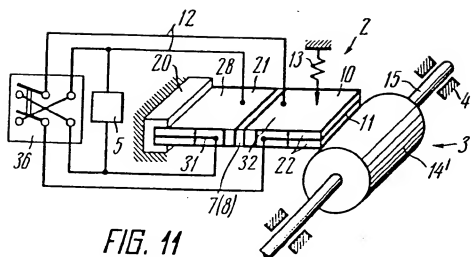


FIG. 11

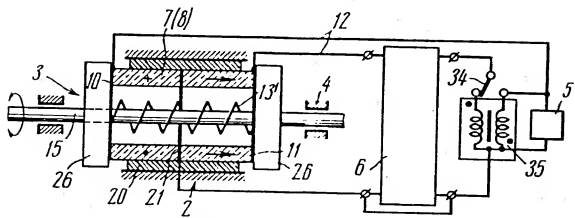


FIG. 12

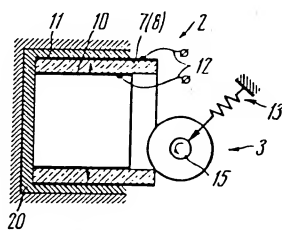


FIG. 13

509886/0381

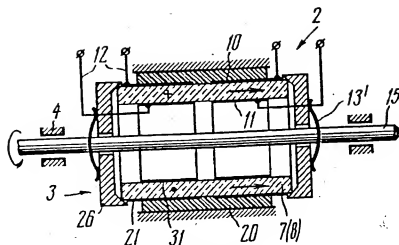


FIG. 14

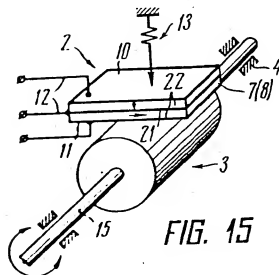


FIG. 15

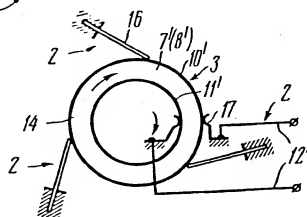


FIG. 16

509886/0381

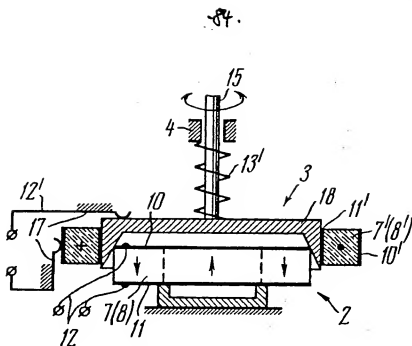


FIG. 17

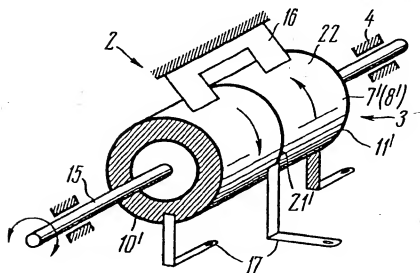


FIG. 18

509886/0381

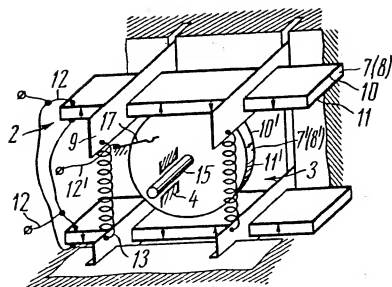


FIG. 19

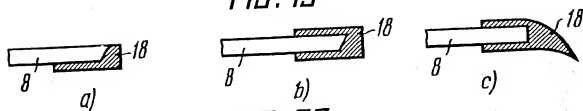


FIG. 20

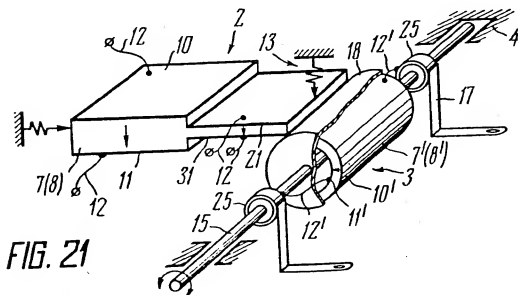


FIG. 21

509886/0381

- 86 -

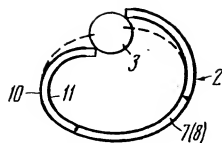


FIG. 22

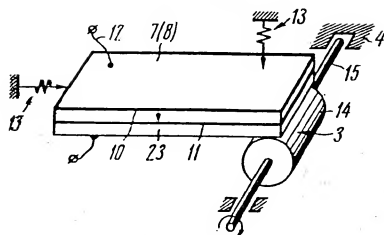


FIG. 23

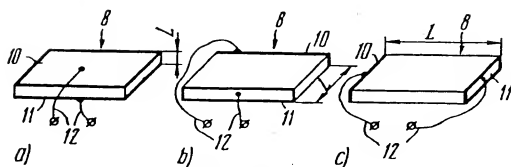


FIG. 24

509886/0381

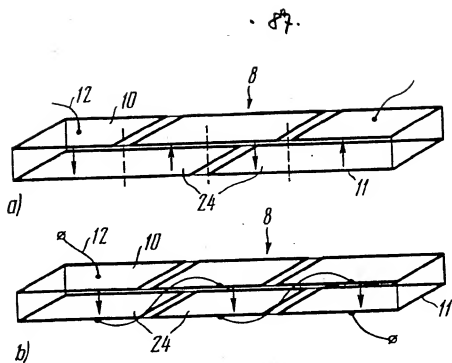


FIG. 25

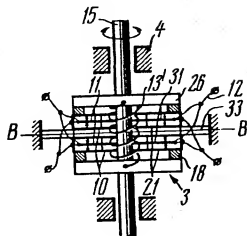
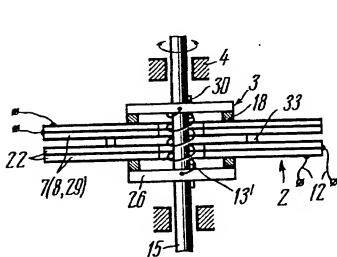


FIG. 38

- 88 -

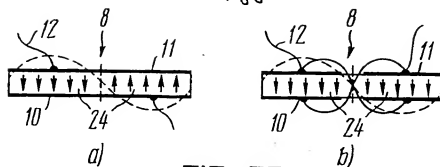


FIG. 26

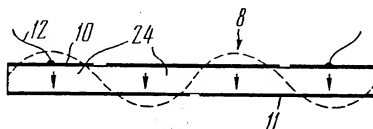


FIG. 27

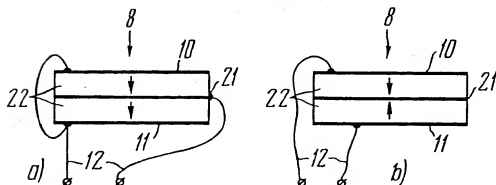


FIG. 28

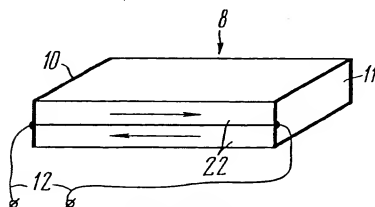


FIG. 29

509886/0381

89.

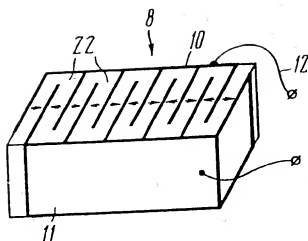


FIG. 30

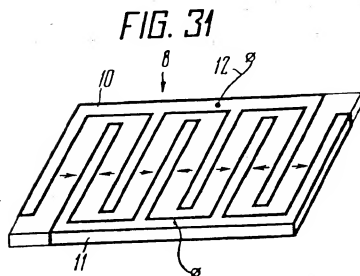


FIG. 31

509886/0381

. 40.

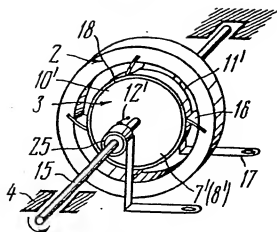


FIG. 32

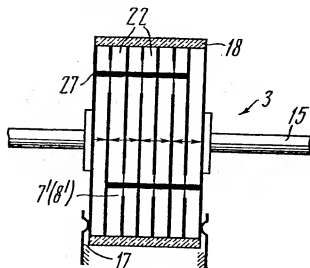


FIG. 33

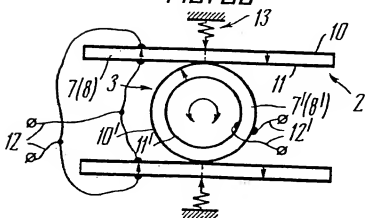


FIG. 34

509886/0381

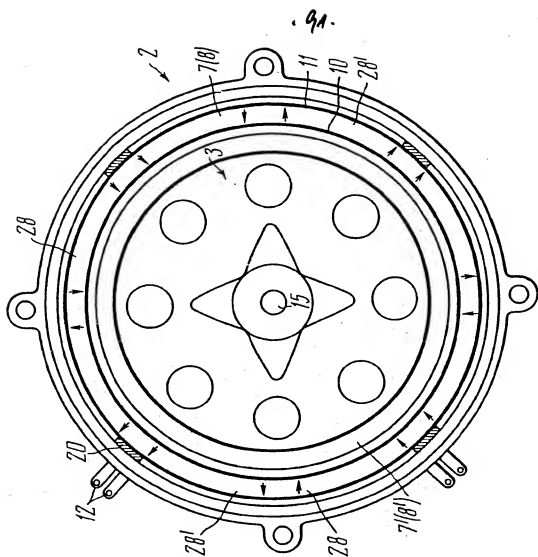


FIG. 36

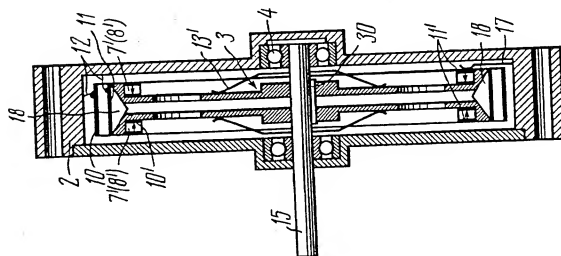


FIG. 35

509886/0381

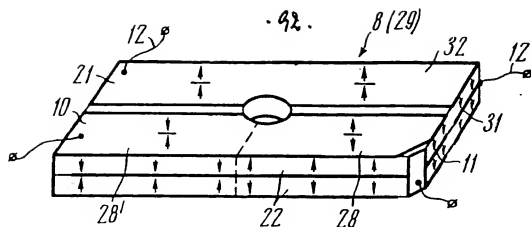


FIG. 39

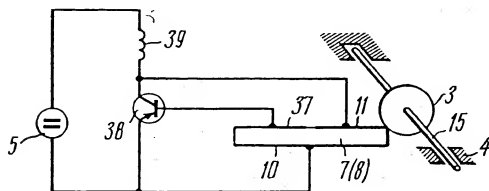


FIG. 40

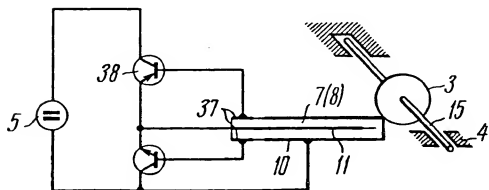


FIG. 41

509886/0381

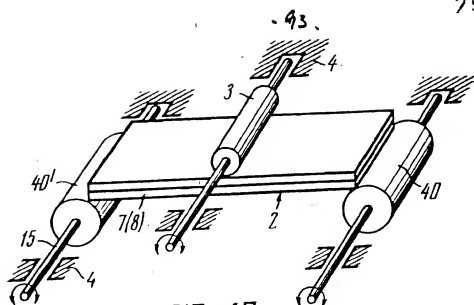


FIG. 42

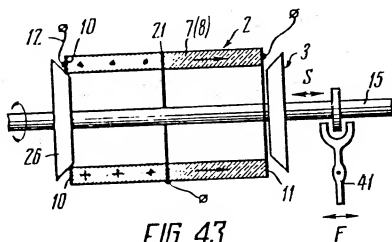


FIG. 43

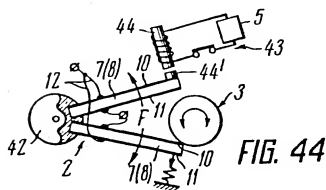
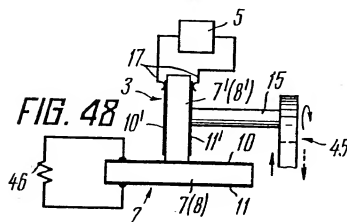
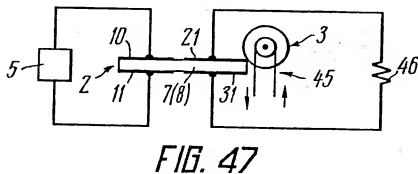
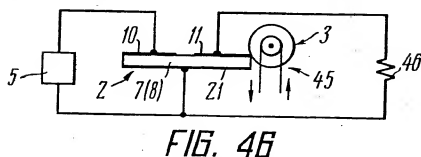
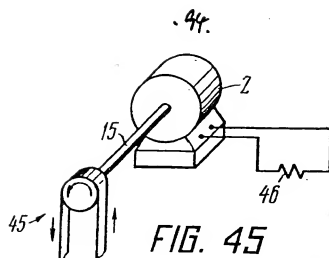


FIG. 44



509886/0381

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)